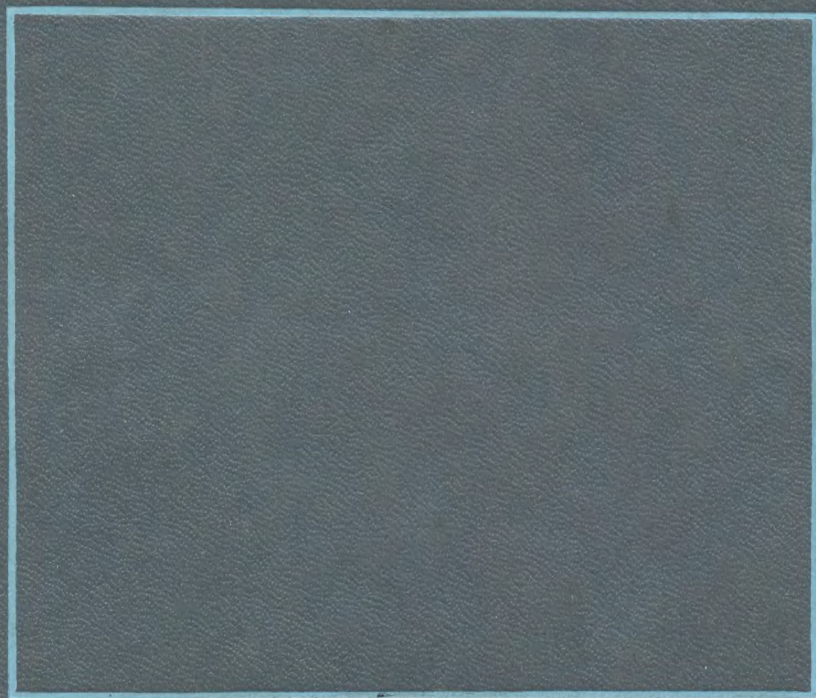




**СПРАВОЧНИК ПО ПРОИЗВОДСТВЕННОМУ
КОНТРОЛЮ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

СПРАВОЧНИК

**ПО
ПРОИЗВОДСТВЕННОМУ
КОНТРОЛЮ
В МАШИНОСТРОЕНИИ**



СПРАВОЧНИК ПО ПРОИЗВОДСТВЕННОМУ КОНТРОЛЮ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Издание третье,
переработанное и дополненное

Под редакцией д-ра техн. наук проф. А. К. КУТАЯ



ЛЕНИНГРАД
«МАШИНОСТРОЕНИЕ»
ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
1974



6П5.3
С74
УДК 658.56(031)

Справочник по производственному контролю в машиностроении. Издание третье, перераб. и доп.
С74 Под ред. д-ра техн. наук проф. А. К. Кутая. Л., «Машиностроение» (Ленингр. отд-ние), 1974.

676 с. с ил.

На обороте тит. л. авт.: К. И. Абаджи, А. Н. Бойцов,
М. Г. Богуславский [и др.]

В третьем издании справочника (2-е изд. 1964 г.) помещены новые материалы по допускам и посадкам линейных и угловых размеров, форме и расположению поверхностей деталей. Приведены данные по средствам механизации и автоматизации контроля, методам измерения деталей больших размеров и сложной формы, резьб, зубчатых колес и шероховатости поверхности. Указаны способы проверки толщины антикоррозионных покрытий, контроля механических свойств изделий. Освещены вопросы применения математической статистики для анализа и регулирования технологических процессов.

Справочник рассчитан на широкий круг инженеров-технологов и работников ОТК машиностроительных заводов.

С $\frac{30103-092}{038(01)-74}$ 92—7

6П5.3

Авторы справочника:

К. И. АБАДЖИ, А. Н. БОЙЦОВ, М. Г. БОГУСЛАВСКИЙ,

Ф. П. ВОЛОСЕВИЧ, П. Н. ГОБЕРМАН, Г. М. ДЕНИСОВ,

А. К. КУТАЙ, Г. А. ОДИНГ, И. Г. СОУР, Б. М. СОРОЧКИН,
Б. А. ТАЙЦ, А. Д. РУБИНОВ, Г. А. ШТЮРМЕР

Рецензент канд. техн. наук *Н. Б. Фирун*
Редактор канд. техн. наук *М. Г. Богуславский*

© Издательство «Машиностроение», 1974 г.

О Г Л А В Л Е Н И Е

Предисловие	11
Глава первая. Взаимозаменяемость, допуски и посадки	13
1. Основные термины и определения (А. Н. Бойцов, И. Г. Соур)	—
2. Нормальные линейные размеры (И. Г. Соур)	17
3. Взаимозаменяемость в машиностроении (А. К. Кутай, И. Г. Соур)	19
4. Гладкие цилиндрические соединения (А. Н. Бойцов, И. Г. Соур)	21
Классы точности, единицы допусков и посадки системы ОСТ	—
Обозначение допусков и посадок на чертежах	41
Международная система допусков и посадок ИСО	67
Допуски и посадки деталей из пластмасс	77
5. Допуски и посадки подшипников качения (А. Н. Бойцов, И. Г. Соур)	82
Допуски подшипников качения	—
Посадки подшипников качения (по ГОСТ 3325—55)	92
6. Шлицевые и шпоночные соединения (А. Н. Бойцов, И. Г. Соур)	108
Соединения с прямобочным профилем шлицев (по ГОСТ 1139—58)	—
Соединения с эвольвентным профилем шлицев	118
Допуски и посадки шпоночных соединений	123
7. Допуски на конусы и углы (А. Н. Бойцов, И. Г. Соур)	125
Основные понятия и термины. Виды конических соединений и основные зависимости	—
Нормальные угловые размеры, конусности и допуски	127
8. Резьбовые соединения (П. Н. Гоберман)	136
Типоразмеры стандартных резьб	—
Допуски метрических резьб	146
Резьба метрическая на деталях из пластмасс (по ГОСТ 11709—71)	167
Допуски метрических резьб по ранее действовавшему ГОСТ 9253—59 и ГОСТ 10191—62	168
Обеспечение взаимозаменяемости резьб с защитными покрытиями	169
9. Зубчатые зацепления (Б. А. Тайц)	172
Общие сведения	—
Основные параметры зубчатых колес и передач	174
Допуски зубчатых и червячных передач	178

10. Допуски на линейные размеры, радиусы и фаски (А. К. Кутай)	220
Определения	—
Свободные и функциональные несопряженные размеры	221
11. Отклонения формы и расположения поверхностей (А. К. Кутай, И. Г. Соур)	223
Основные определения	—
Отклонения формы, классификация, обозначения и допуски	232
Отклонения расположения, классификация, обозначения и допуски	235
Расчет допусков расположения	255
Допуски расположения осей отверстий для крепежных деталей (по ГОСТ 14140—69)	266
Глава вторая. Калибры	280
1. Контроль гладких цилиндрических изделий (А. Н. Бойцов, И. Г. Соур)	—
Конструкция и типы калибров	—
Допуски калибров для размеров от 0,1 до 500 мм	284
Допуски калибров для размеров св. 500 мм	300
Эксплуатация калибров	—
2. Контроль размеров глубин и высот уступов (А. Н. Бойцов) Методы и средства контроля	304
Допуски калибров	305
3. Контроль подшипников качения (по ГОСТ 520—71) (И. Г. Соур)	311
4. Контроль шлицевых и шпоночных соединений (А. Н. Бойцов, И. Г. Соур)	316
Калибры для отверстий и валов с прямобочным профилем шлицев (по ГОСТ 7951—59)	—
Калибры для отверстий и валов с эвольвентным профилем шлицев	322
Калибры предельные для контроля толщины зубьев и ширины впадин	328
Калибры для шпоночных соединений	329
5. Контроль гладких конических изделий (А. Н. Бойцов, И. Г. Соур)	—
6. Контроль резьбы (П. Н. Гоберман)	335
Допуски калибров для метрической резьбы (по ГОСТ 18107—72) Некоторые технические требования на резьбовые калибры для метрической резьбы (по ГОСТ 2016—68)	— 357
7. Контроль формы и расположения поверхностей (А. К. Кутай, И. Г. Соур)	398
Типы калибров для контроля формы поверхностей	—
Допуски профильных калибров	402
Типы калибров для контроля расположения поверхностей изделий	405
Допуски и расчет предельных размеров калибров для контроля расположения поверхностей	413

Глава третья. Основные понятия измерительной техники (К. И. Абаджи, Г. А. Штюмер)	435
1. Понятия и определения в области линейных и угловых измерений	—
2. Единство измерений и единицы измерений	441
3. Классы точности и метрологические характеристики средств измерений	444
4. Погрешности измерений	445
5. Точность результата измерения	451
Показатели точности измерений	—
Способы выражения точности измерения	452
Нормы представления результатов измерений	—
Обработка данных измерений	453
6. Принципы выбора точности средств измерений	458
7. Влияние погрешности измерения на результаты разбраковки	469
Глава четвертая. Средства измерения линейных размеров (А. Д. Рубинов)	475
1. Меры длины концевые плоскопараллельные	—
2. Меры длины штриховые	483
3. Щупы	484
4. Штангенинструменты	485
5. Микрометрические инструменты	488
6. Рычажно-механические приборы	495
Индикаторы часового типа (завод КРИН, ГОСТ 577—68)	—
Измерительные головки с рычажно-зубчатой передачей	499
Измерительные головки высокой точности	501
Нутромеры	508
Скобы с отсчетным устройством (ГОСТ 11098—64)	509
Микрометры рычажные	511
7. Оптико-механические и оптические приборы	516
Оптиметры (ГОСТ 5405—64, ГОСТ 5.189—71)	—
Длиномеры оптические (ЛОМО, ГОСТ 14028—68)	519
Измерительные машины (ГОСТ 10875—64)	523
Измерительные микроскопы	528
Проекционные приборы	536
Катетометры	539
Интерференционные методы и приборы	—
Сферометры (ГОСТ 11194—65)	544
Лупы измерительные (ГОСТ 8309—57)	546
8. Пневматические измерительные приборы	—
Глава пятая. Измерение больших длин и диаметров (А. Д. Рубинов)	555
1. Прямые измерения больших длин и диаметров	—
Измерение внутренних диаметров и длин	—
Измерение наружных диаметров и длин	557
2. Косвенные измерения больших длин и диаметров	561
Измерения от дополнительных измерительных баз	—

Метод опоясывания	562
Определение диаметра по результатам измерения элементов окружности	563
Приборы с обкатным роликом	565
Оптические методы измерения	566
Глава шестая. Контроль и измерение некоторых дета- лей сложной формы (К. И. Абаджи)	569
1. Общие сведения	—
2. Методы контроля и измерений	—
3. Средства контроля и измерения	572
Универсальные приборы	—
Специальные приборы	573
Приборы для кулачков и коноидов	574
Приборы для контроля турбинных лопаток	577
Некоторые специальные приспособления	580
Глава седьмая. Измерение углов и конусов (К. И. Абаджи)	584
1. Угловые меры	—
Призматические угловые меры	—
Угольники	586
Угловые шаблоны	591
2. Угломерные приборы	—
Угломеры	—
Уровни	593
Угломерные головки	597
Гониометры и теодолиты	598
Делительные головки и столы	602
Автоколлимационные приборы	606
3. Косвенные измерения	608
Синусные линейки	—
Конусомеры	610
Глава восьмая. Измерение резьб (К. И. Абаджи)	615
1. Резьбы цилиндрические	—
Комплексные измерения	—
Измерение наружных резьб по элементам	616
Измерение внутренних резьб	637
2. Резьбы конические	641
Измерение по элементам	—
Проверка свинчиваемости пары	646
Глава девятая. Измерение и контроль зубчатых колес (Б. А. Тайц)	647
1. Общие сведения	—
2. Измерение и контроль цилиндрических зубчатых колес	648
Измерение кинематической и циклической погрешностей	—
Измерение накопленной погрешности шага	662
Измерение окружного шага	664
Комплексное двухпрофильное измерение	666
Измерение биения зубчатого венца	—
Измерение колебания длины общей нормали	667
Измерение шага зацепления	668

Измерение профиля зубьев	669
Проверка направления зуба	671
Измерение смещения исходного контура и толщины зуба	674
3. Измерение и контроль конических зубчатых колес Общие сведения	676
Комплексная проверка при двухпрофильном зацеп- лении	677
Измерение биения зубчатого венца	678
Проверка пятна контакта и направления зубьев	—
Измерение толщины зубьев	679
4. Измерение и контроль червяков и червячных колес Измерение винтовой линии червяка	680
Измерение осевого шага червяка	684
Проверка угла и формы профиля червяка	—
Проверка биения витков червяка	685
Проверка толщины витка червяка	—
Контроль элементов колеса	—
5. Контроль шумовых характеристик зубчатых колес и пар	686
Глава десятая. Измерение отклонений формы и распо- ложения поверхностей (А. Д. Рубинов)	689
1. Измерение прямолинейности и неплоскостности	—
Измерение поверочными линейками и плитами	—
Механические приборы	692
Оптические приборы	694
Уровни гидростатические завода «Калибр»	701
Индуктивные приборы	702
2. Измерение отклонений формы цилиндрических деталей Измерение некруглости	705
Измерение отклонений профиля продольного сечения	709
3. Измерение отклонений расположения поверхностей . .	711
Измерение непараллельности	—
Измерение перпендикулярности	715
Измерение торцового и радиального биения	—
Измерение несоосности	717
Измерение непересечения осей	718
Измерение несимметричности	719
4. Измерение волнистости поверхности	—
Глава одиннадцатая. Механизация и автоматизация приемочного контроля. Активный контроль (Б. М. Сорочкин)	722
1. Классификация и основные требования	—
2. Измерительные преобразователи (датчики)	723
3. Нормализованные узлы средств автоматического кон- троля	741
4. Механизированные и автоматические приборы и при- способления	747
5. Контрольно-сортировочные автоматы	757
6. Средства активного контроля	765

Глава двенадцатая. Измерение шероховатости поверхности (<i>М. Г. Богуславский, Ф. П. Волосевич</i>) . . .	780
1. Стандартизация шероховатости поверхности	—
2. Методы и средства измерения шероховатости поверхности	788
Глава тринадцатая. Измерение толщины покрытий (<i>М. Г. Богуславский, А. Д. Рубинов</i>)	801
1. Основные понятия и определения	—
2. Методы и средства измерения толщины пленок (покрытий)	802
Магнитные толщиномеры	803
Индукционные толщиномеры	—
Индуктивные толщиномеры	805
Токовихревые толщиномеры	807
Радиоизотопные толщиномеры	810
3. Проверка толщинометров	810
4. Оптические методы измерения толщины пленок	811
5. Физические разрушающие методы измерения толщины пленок (покрытий)	812
6. Химические методы	812
7. Весовой метод	814
Глава четырнадцатая. Контроль механических свойств и дефектов металлов и пластмасс (<i>М. Г. Денисов, Г. А. Одинг</i>)	815
1. Механические испытания металлов	—
Классификация методов испытаний	—
Статические испытания на растяжение	816
Статические испытания на сжатие	819
Статические испытания на изгиб	820
Статические испытания на кручение	821
Испытания на ударную вязкость	822
Испытания на усталость (выносливость)	823
2. Определение твердости металлов	824
Общие сведения	—
Метод определения твердости стальным шариком (по Бринелю)	—
Метод определения твердости алмазным конусом (по Роквеллу)	826
Метод определения твердости алмазной пирамидой (по Виккерсу)	827
Определение микротвердости	828
3. Технологические испытания	829
4. Испытания пружин	830
5. Контроль механических свойств пластмасс	832
6. Контроль качества сварных соединений	833
7. Выявление поверхностных дефектов металлов	836
Общие сведения	—
Определение поверхностных дефектов с применением проникающих жидкостей	—
Цветной метод	837

Люминесцентный метод	837
Метод определения герметичности трубопроводов и емкостей с помощью гелиевого течеискателя	838
Метод магнитных порошков	839
Магнитная структуроскопия	842
8. Выявление внутренних дефектов металлов	843
Ультразвуковая дефектоскопия	—
Дефектоскопия просвечиванием	847
Определение толщины контролируемых деталей, доступных с одной стороны	849

Глава пятнадцатая. Применение математической статистики при анализе и контроле качества, измерениях и испытаниях (А. К. Кутай)

1. Задачи, решаемые с помощью математической статистики	—
2. Выборка и распределение	—
Основные понятия и классификация выборок	—
Законы распределения	855
Параметры распределения и статистические характеристики	864
Обработка опытных распределений и вероятностная бумага	866
Понятия о статистических гипотезах, несмещенных оценках и доверительных интервалах	874
3. Анализ статистических связей	877
Общие сведения и определения	—
Техника вычислений	878
4. Анализ точности, стабильности и устойчивости технологических процессов	884
5. Статистическое регулирование технологического процесса	911
6. Статистический приемочный контроль качества	922

Приложение 1. Таблицы функций распределения и вероятностная бумага (А. К. Кутай)

Таблица 1. Значения нормированной функции нормального распределения	—
Таблица 2. Значения функций нормального распределения $F(x)$, плотности вероятности $f(x)$ и ее первых шести производных	935
Таблица 3. Функция $F(t)$ закона распределения Максвелла, выраженная через σ_R	948
Таблица 4. Значения функции распределения $F(t)$ модуля нормального закона упрощенного (распределение некруглости)	950
Таблица 5. Значения t_0 при данном числе степеней свободы K и вероятности P	952
Таблица 6. Наибольшие случайные значения коэффициента корреляции r_0	953
Таблица 7. Критерий для исключения резко выделяющихся значений v_p в зависимости от объема выборки (n) и вероятности (P)	—

Лист 1. Вероятностная бумага для нормального закона распределения	954
Лист 2. Вероятностная бумага для равномерного закона распределения	955
Лист 3. Вероятностная бумага для закона распределения Максвелла	956
Лист 4. Вероятностная бумага для функции упрощенного распределения модуля нормального закона	957
Лист 5. Вероятностная бумага для экспоненциального закона распределения	958
П р и л о ж е н и е 2. Ценник основных контрольно-изме- рительных приборов отечественного производства (К. И. Абаджи)	959
А л ф а в и т н о - п р е д м е т н ы й у к а з а т е л ь (К. И. Абаджи)	967

ПРЕДИСЛОВИЕ

Директивы XXIV съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1971—1975 гг. предусматривают всемерное улучшение качества продукции во всех отраслях народного хозяйства и повышение научно-технического уровня стандартов. В числе важнейших задач указаны типизация технологии изготовления, обеспечение при производстве однородных узлов и деталей полной их взаимозаменяемости в процессе использования.

Авторы стремились к тому, чтобы третье издание справочника отвечало указанным выше задачам.

В настоящем издании в соответствии с вышедшими общесоюзными стандартами значительно дополнены таблицы допусков и посадок: полей допусков классов точности от 02 до 09 и для размеров до 0,1 мм; допусков и посадок для деталей из пластмасс; новых систем и посадок допусков для резьбовых соединений и зубчатых передач и т. д. Более обстоятельно освещены основные отклонения и допуски системы ИСО. Помещены новые данные по конструкциям и допускам на калибры.

Основное содержание книги, как и в прежних изданиях, составляют вопросы измерения и контроля в машиностроении. Большинство глав подверглось переработке. Полностью переработана третья глава в связи со стандартизацией государственной системы обеспечения единства измерений. Вопросы контроля и измерения крупногабаритных деталей и некоторых деталей сложной формы выделены в самостоятельные главы (пятая и шестая). Описаны новые приборы для измерения зубчатых колес. Должное внимание уделено методам механизации и автоматизации контроля.

Переработаны и дополнены сведения из математической статистики, облегчающие внедрение методов анализа, статистического регулирования и приемочного контроля в производство. Справочные таблицы и вероятностная бумага упрощают подсчеты и обработку результатов измерений и испытаний качества партий изделий.

Вопросы надежности, контроля в литейных, кузнечно-прессовых и некоторых других цехах машиностроительных заводов в справочнике

не освещаются, так как они изложены в специальных справочниках и книгах.

Авторы благодарят читателей и специалистов предприятий, приславших свои отзывы, а также членов Комитета взаимозаменяемости, точности, методов измерения и контроля Ленинградского областного правления НТО Машпром, принявших участие в обсуждении второго издания справочника.

Отзывы и пожелания по улучшению справочника, которые с признательностью будут приняты авторами, просьба направлять по адресу: 191065, Ленинград, ул. Дзержинского, 10, Ленинградское отделение издательства «Машиностроение».

А. К. Кутай

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ, ДОПУСКИ И ПОСАДКИ

1. ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Основные термины и определения в области допусков и посадок гладких цилиндрических соединений и плоских соединений с параллельными плоскостями установлены ГОСТ 7713—62. В соединении двух деталей, входящих одна в другую, различают охватывающую и охватываемую поверхности соединения. У цилиндрических соединений охватывающая поверхность носит общее название «отверстие», а охватываемая — «вал»; эти понятия условно применимы и к другим охватывающим и охватываемым поверхностям соединений (плоским, коническим и др.).

Номинальным размером называется основной размер, определяемый исходя из функционального назначения детали и служащий началом отсчета отклонений. Общий для отверстия и вала, составляющих соединение, номинальный размер называется номинальным размером соединения. Номинальные размеры должны выбираться из рядов нормальных линейных размеров по ГОСТ 6636—69 (см. п. 2).

Действительным размером называется размер, полученный в результате измерения с допустимой погрешностью.

Предельными размерами называются два предельных значения размера, между которыми должен находиться действительный размер. Большее из них называется наибольшим предельным размером, а меньшее — наименьшим предельным размером (рис. 1.1, а). Предельными размерами ограничиваются действительные размеры годных деталей, полученные измерением с допустимой погрешностью. Случаи, когда предельными размерами должны ограничиваться действительные размеры с учетом погрешностей измерения, следует оговаривать особо (см. главу третью).

Отклонением размера называется алгебраическая разность между размером и его номинальным значением. Отклонение является положительным, если размер больше номинального, и отрицательным, если размер меньше номинального (рис. 1.1, б).

Действительным отклонением называется алгебраическая разность между действительным и номинальным размерами.

Верхним предельным отклонением называется алгебраическая разность между наибольшим предельным размером и номинальным, а нижним предельным отклонением — алгебраическая разность между наименьшим предельным размером и номинальным. Разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами называется допуском размера. Допуск — всегда число положительное.

Нулевой линией называется соответствующая номинальному размеру линия, от которой откладываются отклонения размеров при графическом изображении допусков и посадок (отмечена цифрой 0

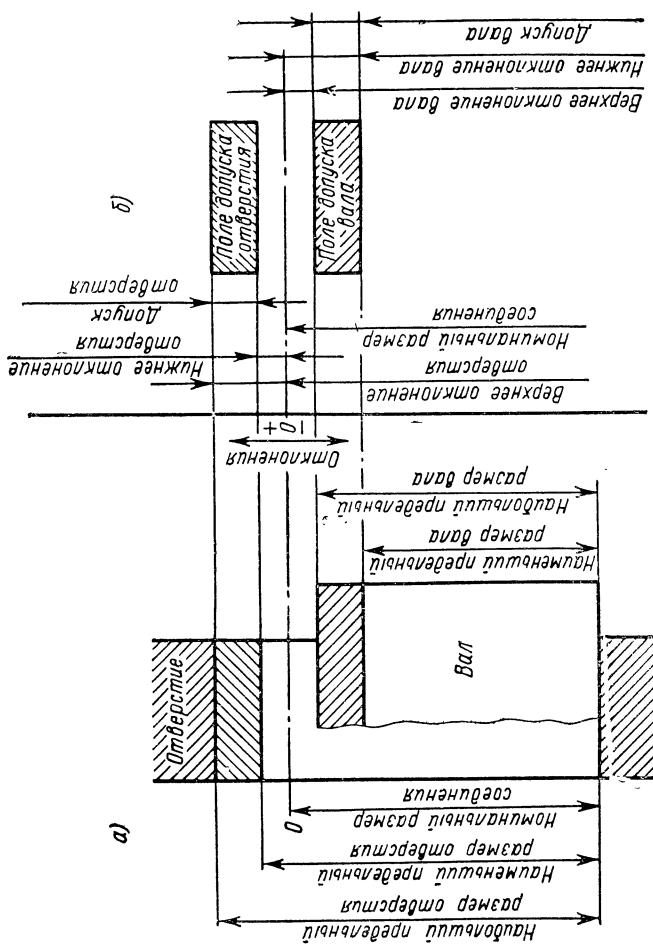


Рис. 1.1

на рис. 1.1). Положительные отклонения откладываются вверх от нулевой линии, отрицательные — вниз.

Поле допуска называется интервал значений размеров, ограниченный предельными размерами. Поле допуска определяется величиной и расположением допуска относительно номинального размера. Зона между линиями, соответствующими верхнему и нижнему предельным отклонениям (наибольшему и наименьшему предельным размерам), является графическим изображением поля допуска. Верх-

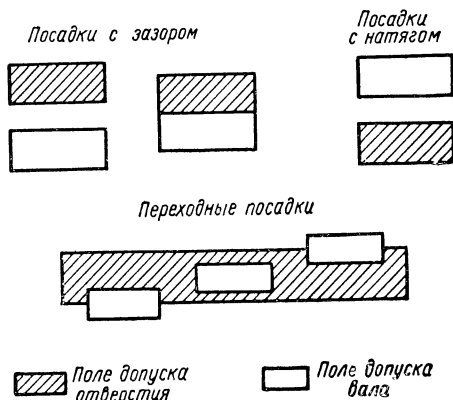


Рис. 1.2

няя граница поля допуска соответствует наибольшему, а нижняя граница — наименьшему предельному размеру (рис. 1.1, б).

Посадкой называется характер соединения деталей, определяемый величиной получившихся в нем зазоров или натягов. Посадка характеризует большую или меньшую свободу относительного перемещения соединяемых деталей или степень сопротивления их взаимному смещению.

Зазором называется положительная разность между размерами отверстия и вала (размер отверстия больше размера вала).

Натягом называется положительная разность между размерами вала и отверстия до сборки деталей (размер вала больше размера отверстия). В необходимых случаях зазор может быть выражен как отрицательный натяг, а натяг — как отрицательный зазор.

Посадки подразделяются на три группы: посадки с зазором, посадки с натягом и посадки переходные.

К посадкам с зазором относятся посадки, в которых поле допуска отверстия расположено над полем допуска вала, в том числе и скользящие посадки, в которых нижняя граница поля допуска отверстия совпадает с верхней границей поля допуска вала.

К посадкам с натягом относятся посадки, в которых поле допуска вала расположено над полем допуска отверстия.

К переходным посадкам относятся посадки, в которых поля допусков отверстия и вала перекрываются (рис. 1.2).

Наибольшим и наименьшим зазором (или натягом) называются два предельных значения, между которыми должен находиться зазор (или натяг).

Допуском посадки называется разность между наибольшим и наименьшим зазорами (в посадках с зазором) или наибольшим и наименьшим натягами (в посадках с натягом). В переходных посадках допуск посадки равен сумме наибольшего натяга и наибольшего зазора. Допуск любой посадки равен сумме допусков соединяемых деталей (отверстия и вала).

Системой отверстия называется совокупность посадок, в которых предельные отклонения отверстий одинаковы (при одном

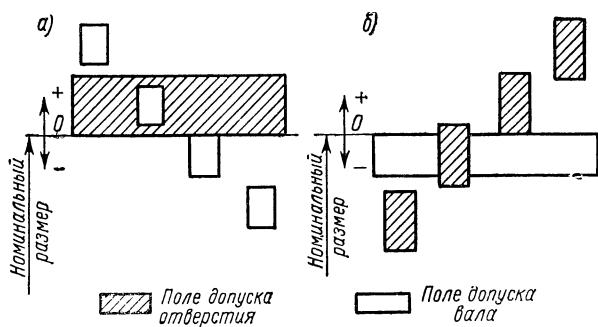


Рис. 1.3

и том же классе точности и номинальном размере), а различные посадки достигаются изменением предельных отклонений валов (рис. 1.3, а). В зависимости от величины допусков отверстий и валов ряды допусков и посадок группируются по классам точности (см. п. 4). Во всех стандартных посадках системы отверстия нижнее отклонение отверстий равно нулю. Такое отверстие называется основным отверстием.

Системой вала называется совокупность посадок, в которых предельные отклонения валов одинаковы (при одном и том же классе точности и номинальном размере), а различные посадки достигаются изменением предельных отклонений отверстий (рис. 1.3, б). Во всех стандартных посадках системы вала верхнее отклонение вала равно нулю. Такой вал называется основным валом.

Поля допусков основных отверстий обозначаются буквой *A*, а поля допусков основных валов — буквой *B* с числовым индексом класса точности (для 2-го класса точности индекс опускается). Обозначения полей допусков неосновных (посадочных) отверстий и валов устанавливаются соответствующими стандартами на допуски и посадки (см. табл. 1.6—1.13, 1.19 и 1.20). Для предпочтительного применения при номинальных размерах 0,1—500 мм установлены два ряда полей допусков отверстий и валов. В первую очередь должны применяться поля допусков 1-го, а затем 2-го ряда (обозначены номерами I и II в табл. 1.7—1.12). Остальные стандартизованные поля допусков могут

применяться только тогда, когда невозможно использовать предпочтительные поля допусков.

Основными посадками называются посадки, образованные сочетаниями полей допусков посадочных валов и отверстий с полями допусков основных отверстий или основных валов одного и того же класса точности, предусмотренных соответствующими стандартами.

Комбинированными посадками называются посадки, образованные сочетаниями стандартизованных полей допусков отверстий и валов из разных классов точности и разных систем (т. е. системы отверстия и системы вала).

Примеры комбинированных посадок:

$$\frac{A_3}{H}; \frac{X_3}{B_{2a}}; \frac{X}{L}; \frac{X_4}{Ш_3}.$$

Допустимо пользоваться любыми комбинированными посадками, в особенности образованными полями допусков предпочтительного применения.

Для случаев, когда нет необходимости в допусках, предусмотренных для валов и отверстий стандартных посадок, установлены «большие допуски» (см. п. 4).

В связи с дальнейшим развитием учения о взаимозаменяемости на практике также находят применение следующие нестандартизованные понятия.

Предельный контур — контур элемента детали, определяемый предельными размерами этого элемента.

Максимальный предельный контур — контур, соответствующий наибольшим предельным размерам сопрягаемого элемента детали.

Минимальный предельный контур — контур, соответствующий наименьшим предельным размерам сопрягаемого элемента детали.

Предельный контур максимума материала (детали) (или контур проходной стороны), соответствующий максимальному предельному контуру для вала и минимальному предельному контуру для отверстия.

Предельный контур минимума материала (или контур непроходной стороны), соответствующий минимальному предельному контуру для вала и максимальному предельному контуру для отверстия.

2. НОРМАЛЬНЫЕ ЛИНЕЙНЫЕ РАЗМЕРЫ

Ограничение количества применяемых линейных размеров создает предпосылки для унификации и сокращения номенклатуры изделий, режущего и измерительного инструмента и другой технологической оснастки, повышения уровня взаимозаменяемости. Поэтому номинальные размеры (диаметров, длин, высот и др.) изделий должны выбираться из рядов нормальных линейных размеров (табл. 1.1).

Ряды нормальных линейных размеров установлены на основе рядов предпочтительных чисел по ГОСТ 8032—56 с округлением некоторых чисел. Ряды размеров (начиная с 0,012 мм) представляют собой

ТАБЛИЦА 1.1

Нормальные линейные размеры (по ГОСТ 6636—69)

Размеры в мм							Ряды			
							Ra 5	Ra 10	Ra 20	Ra 40
0,010 ⁽¹⁾	0,100	1,0	10	100	1000	10 000	+	+	+	+
—	0,105	1,05	10,5	105	1060	10 600				+
0,011 ⁽¹⁾	0,110	1,1	11	110	1120	11 200			+	+
—	0,115	1,15	11,5	120	1180	11 800				+
0,012	0,120	1,2	12	125	1250	12 500		+	+	+
0,013	0,130	1,3	13	130	1320	13 200				+
0,014	0,140	1,4	14	140	1400	14 000			+	+
0,015	0,150	1,5	15	150	1500	15 000				+
0,016	0,160	1,6	16	160	1600	16 000	+	+	+	+
0,017	0,170	1,7	17	170	1700	17 000				+
0,018	0,180	1,8	18	180	1800	18 000			+	+
0,019	0,190	1,9	19	190	1900	19 000				+
0,020	0,200	2,0	20	200	2000	20 000		+	+	+
0,021	0,210	2,1	21	210	2120					+
0,022	0,220	2,2	22	220	2240				+	+
0,024	0,240	2,4	24	240	2360					+
0,025	0,250	2,5	25	250	2500		+	+	+	+
0,026	0,260	2,6	26	260	2650					+
0,028	0,280	2,8	28	280	2800				+	+
0,030	0,300	3,0	30	300	3000					+
0,032	0,320	3,2	32	320	3150			+	+	+
0,034	0,340	3,4	34	340	3350					+
0,036	0,360	3,6	36	360	3550				+	+
0,038	0,380	3,8	38	380	3750					+
0,040	0,400	4,0	40	400	4000		+	+	+	+
0,042	0,420	4,2	42	420	4250					+
0,045	0,450	4,5	45	450	4500				+	+
0,048	0,480	4,8	48	480	4750					+
0,050	0,500	5,0	50	500	5000			+	+	+
0,053	0,530	5,3	53	530	5300					+
0,056	0,560	5,6	56	560	5600				+	+
0,060	0,600	6,0	60	600	6000					+

Продолжение табл. 1.1

Размеры в мм						Ряды			
						Ra 5	Ra 10	Ra 20	Ra 40
0,063	0,630	6,3	63	630	6300	+	+	+	+
0,067	0,670	6,7	67	670	6700				+
0,071	0,710	7,1	71	710	7100			+	+
0,075	0,750	7,5	75	750	7500				+
0,080	0,800	8,0	80	800	8000		+	+	+
0,085	0,850	8,5	85	850	8500				+
0,090	0,900	9,0	90	900	9000			+	+
0,095	0,950	9,5	95	950	9500				+

Примечания:

1. Для размеров в интервале 0,001—0,009 мм установлен ряд: 0,001; 0,002; 0,003; 0,004; 0,005; 0,006; 0,007; 0,008; 0,009 мм.
2. Размеры 0,010 и 0,011 мм, отмеченные индексом (1), не входят в ряд Ra 40.
3. Кроме основных рядов, допускается применять производные ряды, получаемые отбором каждого 2, 3 или n -го члена одного и того же основного ряда; допускается также из основных рядов составлять ряды, которые в различных диапазонах имеют неодинаковые знаменатели прогрессии.

геометрические прогрессии со знаменателями $\sqrt[5]{10}$; $\sqrt[10]{10}$; $\sqrt[20]{10}$; $\sqrt[40]{10}$ и обозначаются Ra 5; Ra 10; Ra 20; Ra 40.

При выборе размеров предпочтение должно отдаваться рядам с более крупной градацией, т. е. ряд Ra 5 следует предпочитать ряду Ra 10, ряд Ra 10 — ряду Ra 20, ряд Ra 20 — ряду Ra 40.

В отдельных, технически обоснованных случаях допускается применять дополнительные промежуточные размеры, приведенные в ГОСТ 6636—69.

ГОСТ 6636—69 не распространяется на технологические межоперационные размеры, размеры, зависящие от других принятых величин, и размеры, установленные в стандартах на конкретные изделия, например на резьбу, подшипники качения и др.

3. ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Под взаимозаменяемостью понимается свойство конструкции удовлетворять оптимальным эксплуатационным (включая надежность) и производственным показателям, обусловливаемое изготовлением составных частей конструкции в заданных допусках на геометрические, физические и другие функциональные параметры качества. Взаимозаменяемость создает возможность ведения эффективного производственного процесса, построенного на базе независимого изготовления отдельных частей изделий.

Независимость изготовления частей означает возможность замены одной детали (узла, механизма и т. п.) другой одноименной деталью

без пригонки, подбора и т. п., причем такая замена не должна ухудшать качество работы изделия.

Различают следующие категории взаимозаменяемости:

а) эксплуатационную, вызываемую требованиями надежности и рационального использования изделия (ответственные и точные сопряжения и функциональные параметры, запасные и сменные части, присоединительные элементы агрегатов и т. п.);

б) производственную, вызываемую требованиями рационального производства (сокращение пригоночных и ручных работ, механизация и автоматизация процессов, удешевление изготовления и т. п.).

Эксплуатационную взаимозаменяемость необходимо обеспечивать при всех типах производства. Уровень производственной взаимозаменяемости тем выше, чем больше серийность производства и степень его автоматизации.

Взаимозаменяемость может быть:

а) полной и неограниченной;

б) неполной или частичной (если, допустим, 40% деталей невзаимозаменяемы, то объект обладает 60-процентной неполной взаимозаменяемостью);

в) ограниченной, когда требуется дополнительная работа при изготовлении или сборке (подбор и регулировка частей, совместная обработка отдельных деталей и т. п.) или если взаимозаменяемость охватывает отдельные партии и серии деталей.

Взаимозаменяемость должна обеспечиваться соответствующей разработкой чертежей. Конструкция машины или прибора проектируется из агрегатов узлов, допускающих легкую сборку и разборку и способствующих унификации и кооперированию. Узлы сопрягаются по одной базовой поверхности в направлении каждой из осей координат. Следует предусматривать компенсацию силовых и температурных деформаций, а также изменений формы и свойств частей во времени из-за износа и других причин. Машины должны обладать жесткостью и иметь опоры не более чем в трех точках, расположенных перпендикулярно к направлению действующих сил. Нужно стремиться к уменьшению числа контактных поверхностей узла, что сокращает число взаимосвязанных размеров.

Значительное внимание должно быть уделено оформлению базовых поверхностей и простановке размеров и допусков на рабочих чертежах.

В процессе контроля размеры должны проверяться в той последовательности и от тех конструктивных баз, которые соответствуют простановке размеров на рабочем чертеже. Размеры, определяющие расположение сопрягаемых поверхностей, следует проставлять, как правило, от конструктивных баз с учетом возможности выполнения и контроля этих размеров (ГОСТ 2.307—68, п. 1.12). В качестве базовых используются гладкие, простые поверхности достаточной протяженности, причем базы должны быть удобны для технологического процесса и контроля. От одной базы должно обрабатываться наибольшее число поверхностей. Требования к базам особенно важны при изготовлении деталей или их сборке на автоматических линиях.

На рабочем чертеже деталь следует изображать с теми размерами, обозначениями шероховатости поверхности и другими параметрами, подлежащими выполнению по данному чертежу, которые она должна иметь перед сборкой. Нанесение размеров и предельных отклонений

должно отвечать ГОСТ 2.307—68, предельных отклонений формы и расположения поверхностей — ГОСТ 2.308—68, характеристик поверхности — ГОСТ 2.309—73.

Не рекомендуется без необходимости проставлять размеры в виде цепочки, так как отклонения размеров могут суммироваться. Количество размеров должно быть минимальным, но достаточным для изготовления и контроля изделия (ГОСТ 2.307—68, п. 1.2).

Для всех размеров, нанесенных на рабочих чертежах, указывают предельные отклонения. Допускается не указывать предельные отклонения:

а) для размеров, определяющих зоны различной шероховатости, термообработки, покрытия, отделки, накатки, насечки (у размеров наносится знак \approx);

б) для размеров деталей изделий индивидуального производства, задаваемых с припуском на пригонку;

в) для справочных размеров (ГОСТ 2.307—68, пп. 1.4 и 1.15).

Любое изменение конструктивно обоснованной простановки размеров на чертеже (тем более их отклонений) может повлечь за собой ухудшение собираемости и взаимозаменяемости деталей и узлов.

Для обеспечения взаимозаменяемости изделий по физическим параметрам необходимо назначать обоснованные отклонения как на геометрические элементы, так и на химико-физические параметры (твердость, магнитные, электротехнические и т. д.) частей машин и элементов схем. Должны быть выявлены (расчетом или экспериментально) закономерности связей между геометрическими отклонениями и физическими параметрами. Особое внимание следует уделять взаимозаменяемости запасных частей машин и резервных элементов радиотехнических устройств. Должны быть предусмотрены испытания на взаимозаменяемость и надежность элементов и частей устройств, а также известный запас в зазорах на износ или деформацию в эксплуатации.

Метод, благодаря которому выявляется функциональная или стохастическая связь между эксплуатационными показателями и отклонениями в параметрах деталей, узлов, блоков, систем или химико-физическими свойствами, получил наименование метода функциональной взаимозаменяемости.

4. ГЛАДКИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ

Классы точности, единицы допусков и посадки системы ОСТ

Системой допусков и посадок называется совокупность рядов допусков и посадок, закономерно построенных на основе теоретических и экспериментальных исследований и оформленных в виде стандартов [1].

Ряды допусков размеров установлены в зависимости от номинальных значений размеров и уровня точности. Допуски δ (в мкм) размеров рассчитаны по формуле

$$\delta = ik, \quad (1.1)$$

где i — единица допуска в мкм; k — число единиц допуска.

Единица допуска i выражает зависимость допуска от номинального значения размера. Единица допуска определяется по следующим формулам:

для размеров от 0,1 до 1 мм (исключительно)

$$i = 0,45 \sqrt[3]{d_{\text{ср}}} + \frac{0,02}{d_{\text{ср}} + 0,1}; \quad (1.2)$$

для размеров от 1 до 500 мм

$$i = 0,5 \sqrt[3]{d_{\text{ср}}}; \quad (1.3)$$

для размеров св. 500 до 10 000 мм

$$i = 0,45 \sqrt[3]{d_{\text{ср}}} + 0,001 d_{\text{ср}}; \quad (1.4)$$

для размеров св. 10 000 до 31 500 мм (рекомендовано Бюро взаимозаменяемости)

$$i = 0,0045 d_{\text{ср}}, \quad (1.5)$$

где i — в мкм; $d_{\text{ср}}$ — среднее из наибольшего и наименьшего значений размеров в интервале номинальных размеров в мм.

Диапазон размеров, охватываемых системой допусков и посадок, разделен на ряд интервалов номинальных размеров, например интервалы размеров от 1 до 3, св. 3 до 6, св. 6 до 10 мм и т. д. Вычисленные по формулам (1.1—1.5) значения единиц допуска i и допуски δ распространяются на все входящие в один и тот же интервал размеры (табл. 1.2—1.4).

Для нормирования различных уровней точности изготовления деталей установлены классы точности. Каждому классу точности соответствует определенное значение коэффициента k (см. табл. 1.2) в формуле (1.1). Системой допусков и посадок (системой ОСТ) установлены:

а) для размеров менее 0,1 мм (исключительно) — девять классов точности: 08 *; 09; 1; 2; 2а; 3; 3а *; 4* и 5* (по ГОСТ 8809—71); при этом в классах точности 09; 1; 2; 2а и 3 предусмотрены поля допусков для различных посадок;

б) для размеров от 0,1 до 1 мм (исключительно) — шестнадцать классов точности: 03 *; 04 *; 05 *; 06 *; 07 *; 08 *; 09 *; 1; 2; 2а; 3; 3а; 4; 5 **; 6 **; 7 ** (по ГОСТ 3047—66); при этом в классах точности 1; 2; 2а; 3; 3а; 4 и 5 предусмотрены поля допусков для посадок, а классы 6 и 7 (большие допуски) предназначены для размеров несопрягаемых поверхностей (свободных размеров);

в) для размеров от 1 до 500 мм — девятнадцать классов точности: 02 *; 03 *; 04 *; 05 *; 06 *; 07; 08; 09; 1; 2; 2а; 3; 3а; 4; 5; 7 **; 8 **; 9 **; 10 ** (по ГОСТ 11472—69, по ОСТ 1010—1017, 1021—1027, 1041—1044, 1069, 1142, 1143); при этом в классах точности 07; 08; 09; 1; 2; 2а; 3; 3а; 4; 5 предусмотрены поля допусков для посадок, а классы точности 7; 8; 9; 10 (большие допуски) предназначены для свободных размеров;

г) для размеров св. 500 до 10 000 мм — двенадцать классов точности: 1; 2; 2а; 3; 3а; 4; 5; 7 **; 8 **; 9 **; 10 ** и 11 ** (по ГОСТ 2689—54); при этом в классах точности 2; 2а; 3; 3а; 4 и 5 предусмотрены поля допусков для посадок, а классы точности 7, 8, 9, 10 и 11 (большие допуски) предназначены для свободных размеров.

ТАБЛИЦА 1.2
Числа единиц допуска (k) для размеров от 0,1 до 10 000 мм в классах точности 1—11

Диапазоны размеров в мм	Вид поверхности	Классы точности												
		1	2	2a	3	3a	4	5	6	7	8	9	10	11
		Число единиц допуска												
От 0,1 до 1 (исключи- тельно)	Отверстие	10	16	25	40	64	100	160	250	400	—	—	—	—
	Вал	10	16	25	40	64	100	160	250	400	—	—	—	—
От 1 до 500	Отверстие	9	16 *	25	30 *	64	100	200	—	400	640	1000	1600	—
	Вал	6,5 **	10 **	16 *	30 **	64	100	200	—	400	640	1000	1600	—
Св. 500 до 10 000	Отверстие	10	16	25	32	64	100	200	—	400	640	1000	1600	2500
	Вал	7	10	16	32	64	100	200	—	400	640	1000	1600	2500

П р и м е ч а н и е. * — кроме отверстий Gr и X ($k = 21$); $Л$ ($k = 27$); $Ш$ ($k = 30$); X_3 ($k = 40$) и $Ш_3$ ($k = 50$).

** — кроме валов X_1 ($k = 10$, $i = 0,45\sqrt[3]{d_{cp} + 0,001 d_{cp}}$); Gr и X ($k = 16$); $Л$ ($k = 21$); $ТХ$ ($k = 25$, $i = 0,45\sqrt[3]{d_{cp} + 0,001 d_{cp}}$); $Ш$; $Пр2_{2a}$ и X_{2a} ($k = 25$); X_3 ($k = 40$) и $Ш_3$ ($k = 50$).

Для размеров менее 0,1 мм и в классах точности 02—09 единица допуска не устанавливалась.

ТАБЛИЦА 1.3

Допуски размеров от менее 0,01 до 10 000 мм
(по ГОСТ 2689—54, 3047—66, 8809—71, 11472—69, ОСТ 1010—1017, 1021—1027, 1041—1044, 1069, 1142, 1143)

Интервалы номинальных размеров в мм	Классы точности									
	02	03	04	05	06	07	08	09	1	2
	Допуски в мкм									
До 0,01	—	—	—	—	—	—	0,3	0,5	0,8	1,2
Св. 0,01 до 0,03	—	—	—	—	—	—	0,5	0,8	1,2	2
» 0,03 » 0,06	—	—	—	—	—	—	0,8	1,2	2	3
» 0,06 » 0,1 (исключительно)	—	—	—	—	—	—	1,2	2	3	4
От 0,1 до 0,3	—	—	0,25	0,4	0,6	1	1,5	2	3	5
Св. 0,3 » 0,6	—	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2	1,8	2,5	4	6
» 0,6 » 1 (исключительно)	—	0,25	0,4	0,6	1	1,5	2	3	5	7
От 1 до 3	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10
Св. 3 до 6	0,25	0,4	0,6	1,0	1,5	2,5	4	5	8	13
» 6 » 10	0,25	0,4	0,6	1,0	1,5	2,5	4	6	9	16
» 10 » 18	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	19
» 18 » 30	0,4	0,6	1,0	1,5	2,5	4	6	9	13	23
» 30 » 50	0,4	0,6	1,0	1,5	2,5	4	7	11	15	27
» 50 » 80	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	13	18	30
» 80 » 120	0,6	1,0	1,5	2,5	4	6	10	15	21	35

Продолжение табл. 1.3

Интервалы номинальных размеров в мм	Классы точности										
	02	03	04	05	06	07	08	09	1	2	
	Допуски в мкм										
Св. 120 до 180 » 180 » 260 » 260 » 360 » 360 » 500	0,8	1,2	2	3,5	5	8	12	18	24	27	40
	1,2	2	3	4,5	7	10	14	20	27	30	45
	2	3	4	6	8	12	16	23	30	35	50
	2,5	4	6	8	10	15	20	27	35	40	60
Св. 500 до 630 » 630 » 800 » 800 » 1 000 » 1000 » 1 250 » 1250 » 1 600 » 1600 » 2 000 » 2000 » 2 500 » 2500 » 3 150 » 3150 » 4 000 » 4000 » 5 000 » 5000 » 6 300 » 6300 » 8 000 » 8000 » 10 000	—	—	—	—	—	—	—	—	30	45	70
	—	—	—	—	—	—	—	—	35	50	80
	—	—	—	—	—	—	—	—	40	55	90
	—	—	—	—	—	—	—	—	45	60	100
	—	—	—	—	—	—	—	—	50	65	110
	—	—	—	—	—	—	—	—	55	75	120
	—	—	—	—	—	—	—	—	60	85	130
	—	—	—	—	—	—	—	—	70	100	150
	—	—	—	—	—	—	—	—	80	110	170
	—	—	—	—	—	—	—	—	90	120	190
	—	—	—	—	—	—	—	—	100	140	220
	—	—	—	—	—	—	—	—	110	160	260
	—	—	—	—	—	—	—	—	130	180	300

Продолжение табл. 1.3

Интервалы номинальных размеров в мм	Классы точности										
	Допуски в мкм										
	2а	3	3а	4	5	6	7	8	9	10	11
До 0,01 Св. 0,01 до 0,03 » 0,03 » 0,06 » 0,06 » 0,1 (исключительно)	2	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	3	4	6	—	—	—	—	—	—	—	—
	4	6	10	14	—	—	—	—	—	—	—
	6	10	14	25	40	—	—	—	—	—	—
От 0,1 до 0,3 Св. 0,3 » 0,6 » 0,6 » 1 (исключительно)	8	13	20	35	50	—	—	—	—	—	—
	10	15	25	40	60	90	140	—	—	—	—
	12	18	30	45	70	100	160	—	—	—	—
От 1 до 3 Св. 3 до 6 » 6 » 10 » 10 » 18 » 18 » 30 » 30 » 50 » 50 » 80 » 80 » 120 » 120 » 180 » 180 » 260 » 260 » 360 » 360 » 500	9	14	40	60	120	—	250	400	600	—	—
	12	18	25	48	160	—	300	480	750	1200	—
	15	22	30	58	200	—	360	580	900	1500	—
	18	27	35	70	240	—	430	700	1100	1800	—
	21	33	45	84	280	—	520	840	1300	2100	—
	25	39	50	100	340	—	620	1000	1600	2500	—
	30	46	60	120	400	—	740	1200	1900	3000	—
	35	54	70	140	460	—	870	1400	2200	3500	—
	40	63	80	160	530	—	1000	1600	2500	4000	—
	47	73	90	185	600	—	1150	1900	2900	4600	—
	54	84	100	215	680	—	1350	2200	3300	5400	—
	62	95	120	250	760	—	1550	2500	3800	6300	—

Продолжение табл. 1.3

Интервалы номинальных размеров в мм		Классы точности										
		Допуски в мкм										
		2a	3	3a	4	5	6	7	8	9	10	11
Ср.	500 до 630	70	110	140	280	450	900	1800	2 800	4 500	7 000	11 000
»	630 » 800	80	120	150	300	500	1000	—	2000	3 000	5 000	8 000
»	800 » 1 000	90	130	170	350	550	1100	—	2200	3 500	5 500	9 000
»	1000 » 1 250	100	150	200	400	600	1200	—	2400	4 000	6 000	10 000
»	1250 » 1 600	110	170	220	450	650	1300	—	2600	4 500	6 500	11 000
»	1600 » 2 000	120	190	250	500	750	1500	—	3000	5 000	7 000	12 000
»	2000 » 2 500	130	210	280	550	900	1800	—	3500	5 500	8 000	13 000
»	2500 » 3 150	150	230	300	600	1000	2000	—	4000	6 000	9 000	15 000
»	3150 » 4 000	170	260	350	700	1100	2200	—	4500	7 000	10 500	17 000
»	4000 » 5 000	190	300	400	800	1200	2500	—	5000	8 000	12 000	19 000
»	5000 » 6 300	220	350	450	900	1400	2800	—	5500	9 000	14 000	22 000
»	6300 » 8 000	260	400	500	1000	1600	3200	—	6500	10 000	16 000	26 000
»	8000 » 10 000	300	450	600	1200	1800	3500	—	7000	12 000	18 000	30 000

Примечания:

1. Для размеров от 1 до 10 000 мм в классах точности 1; 2; 2a числа в левой графе каждого класса являются допусками валов, а в правой графе — допусками отверстий.

2. Для размеров от 1 до 500 мм допуски отверстий Gr , X , L , $Ш$, $Х_2$, $Х_3$ и валов $Х_1$, Gr , X , L , $ГХ$, $Ш$, $Пр^{2a}$, $Х_2$, $Х_3$, $Ш$, отличаются от приведенных в данной таблице (см. табл. 1.9—1.12).

3. В классах точности 7, 8, 9 и 10 при расположении поля допуска симметрично относительно номинального размера допуски некоторых размеров отличаются (вследствие округления предельных отклонений) от приведенных в данной таблице (см. табл. 1.13).

Примечание. Поля допусков рекомендуется располагать относительно номинального размера:

* в «плюс» — для отверстий (A_{02} , A_{03} и т. д.), в «минус» — для валов (B_{02} , B_{03} и т. д.) или симметрично, т. е. половина допуска со знаком \pm (SM_{02} , SM_{03} и т. д.);

+ в «плюс» — для отверстий (A_6 , A_7 и т. д.), в «минус» — для валов (B_6 , B_7 и т. д.) или симметрично (SM_6 , SM_7 и т. д.) — для размеров поверхностей, не относящихся к отверстиям и валам и не образующих соединения.

ТАБЛИЦА 14

Допуски основных отверстий и валов для размеров
св. 10 000 до 31 500 мм
(по РТМ 44—62)

Номинальные размеры в мм	Классы точности								
	3	3а	4	5	7	8	9	10	11
	Допуски в мм								
Св. 10 000 до 12 000	0,8	1,2	2,0	4	8	12	20	32	50
» 12 000 » 16 000	1,0	1,6	2,5	5	10	16	25	40	60
» 16 000 » 20 000	1,2	2	3,2	6	12	20	32	50	80
» 20 000 » 25 000	1,6	2,5	4,0	8	16	25	40	60	100
» 25 000 » 31 500	2,0	3,2	5,0	10	20	32	50	80	120

Для обеспечения различных по характеру соединений деталей системой ОСТ установлены три группы посадок, приведенные в табл. 1.5. Предельные отклонения размеров отверстий и валов для стандартных посадок в системе отверстия и в системе вала приведены в табл. 1.6 для размеров менее 0,1 мм (исключительно), в табл. 1.7 и 1.8 для размеров от 0,1 до 1 мм (исключительно) и в табл. 1.9—1.13 для размеров от 1 до 500 мм.

Приведенные в табл. 1.7—1.12 поля допусков для предпочтительного применения (см. главу первую, п. 1) установлены в результате изучения применяемости полей допусков системы ОСТ отечественной промышленностью. Широкое применение предпочтительных полей допусков позволяет сократить номенклатуру необходимых инструментов и организовать изготовление калибров и режущих инструментов на специализированных предприятиях. Большинство предпочтительных полей допусков хорошо согласуется с соответствующими полями допусков международной системы допусков и посадок ИСО, применяемой в ряде стран¹.

Во всех случаях назначения допусков и посадок сопрягаемых деталей с размерами от 0,1 до 500 мм конструкторы должны использовать в первую очередь поля допусков предпочтительного применения I и II рядов, а затем подбирать эквивалентную замену непредпочтительных полей допусков валов и отверстий предпочтительными полями, дающими аналогичный характер соединения.

В табл. 1.14 даны примеры подобной замены непредпочтительных полей допусков валов².

¹ О системе ИСО см. на стр. 67.

² Подробнее см. статью А. К. Кутая «Расширение области применения предпочтительных полей допусков на базе функциональной взаимозаменяемости». — «Стандартизация», 1960, № 6.

ТАБЛИЦА 1.5

Наименования, условные обозначения и распределение посадок по классам точности в системе ОСТ для размеров до 10 000 мм

Группы посадок	Наименование посадок	Условные обозначения посадок	Диапазоны размеров			
			Менее 0,1 мм	От 0,1 до 1 мм (исключительно)	От 1 до 500 мм	Св. 500 до 10 000 мм
			По ГОСТ 8809-71	По ГОСТ 3047-66	По ГОСТ 11472-69; по ОСТ 1011, 1017, 1021-1027, 1041-1044, 1069, 1142, 1143	По ГОСТ 2889-64
Посадки с натягом	Прессовая 3-я	Пр3	—	1; 2	3 *	2а *
	Прессовая 2-я	Пр2	—	1; 2; 2а	07 *; 08 *; 1 *; 2а; 3 *	2а *; 3 *
	Прессовая 1-я	Пр1	—	3	07 *; 08; 09 **; 1 *; 2а; 3 *	2 *; 2а *; 3 *
	Горячая	Гр	—	—	2	—
	Прессовая Легкопрессовая	Пр Пл	—	—	2 2 *	2 *; 2а * 2 *
Переходные посадки	Глухая	Г	—	—	08; 09 **; 1; 2; 2а	2; 2а *
	Тугая	Т	—	—	1; 2; 2а	2
	Напряженная	Н	—	1; 2; 2а; 3	07 *; 08; 09 **; 1; 2; 2а	2; 2а *
	Плотная	П	09; 1; 2; 2а	2; 2а; 3	07 *; 08; 09 **; 1; 2; 2а	2; 2а *
Посадки с зазором	Скользкая	С	09; 1; 2; 2а; 3	1; 2; 2а; 3; 3а; 4; 5	07 *; 08; 09 **; 1; 2; 2а; 3; 3а; 4; 5	2; 2а; 3; 3а; 4; 5
	Движения	Д	09; 1; 2	2	07 *; 08; 09 **; 1; 2	2; 2а *
	Ходовая	Х	1; 2; 2а	1; 2; 2а; 3	1; 2; 2а *; 3; 4; 5	2 *; 2а *
	Легкоходовая	Л	1; 2; 2а; 3	1; 2; 2а; 3; 3а	2; 4	3; 4
	Широкоходовая	Ш	—	2	2; 3; 4	3; 3а; 4
	Широкоходовая 1-я	Ш1	—	2; 2а; 3; 3а; 4	—	—
	Широкоходовая 2-я	Ш2	—	3а; 4	—	—
	Тепловая ходовая	ТХ	—	—	2 *	—

Примечание. * — посадка имеется только в системе отверстия; ** — посадка имеется только в системе вала.

ТАБЛИЦА 1.6

Размеры менее 0,1 мм
Предельные отклонения отверстий и валов
классов точности 09—3
(по ГОСТ 8809—71)

Интервалы номинальных размеров в мм		Наименования предельных отклонений	Классы точности											
			09						1					
			Обозначения полей допусков											
			отверстий		валов		отверстий		валов		отверстий		валов	
		A_{09}	P_{09}	C_{09}	D_{09}	A_1	P_1	C_1	D_1	X_1	L_1			
Предельные отклонения в мкм														
Система отверстий	До 0,01	Верхнее Нижнее	+0,5 0	+0,25 -0,25	0 -0,5	— —	+0,8 0	+0,4 -0,4	0 -0,8	— —	— —	— —	— —	
	Св. 0,01 до 0,03	Верхнее Нижнее	+0,8 0	+0,4 -0,4	0 -0,8	— —	+1,2 0	+0,6 -0,6	0 -1,2	— —	— —	— —	— —	
	Св. 0,03 до 0,06	Верхнее Нижнее	+1,2 0	+0,6 -0,6	0 -1,2	— —	+2 0	+1 -1	0 -2	-2 -4	-4 -6	-6 -8	-6 -8	
	Св. 0,06 до 0,1 (исключительно)	Верхнее Нижнее	+2 0	+1 -1	0 -2	— —	+3 0	+1,5 -1,5	0 -3	-2 -5	-4 -7	-6 -9	-6 -9	

Продолжение: табл. 1.6

Интервалы номинальных размеров в мм		Наименования предельных отклонений	Классы точности											
			09						1					
			Обозначения полей допусков											
			валов		отверстий		валов		отверстий					
		B_{09}	P_{09}	C_{09}	D_{09}	B_1	P_1	C_1	D_1	X_1	L_1			
Предельные отклонения в мкм														
До 0,01	Верхнее	0	+0,25	+0,5	—	0	+0,4	+0,8	—	—	—	—		
	Нижнее	-0,5	-0,25	0	—	-0,8	-0,4	0	—	—	—	—		
Св. 0,01 до 0,03	Верхнее	0	+0,4	+0,8	—	0	+0,6	+1,2	—	—	—	—		
	Нижнее	-0,8	-0,4	0	—	-1,2	-0,6	0	—	—	—	—		
Св. 0,03 до 0,06	Верхнее	0	+0,6	+1,2	—	0	+1	+2	+4	+6	+8			
	Нижнее	-1,2	-0,6	0	—	-2	-1	0	+2	+4	+6			
Св. 0,06 до 0,1 (исключительно)	Верхнее	0	+1	+2	+4	0	+1,5	+3	+5	+7	+9			
	Нижнее	-2	-1	0	+2	-3	-1,5	0	+2	+4	+6			

Продолжение табл. 1.6

Интервалы номинальных размеров в мм		Наименования предельных отклонений	Классы точности																																						
			2						2a						3																										
			Обозначения полей допусков																																						
			отверстий			валов			отверстий			валов			отверстий																										
В			П			С			Д			Х			Л			В _{2a}			П _{2a}			С _{2a}			Х _{2a}			Л _{2a}			В ₃			С ₃			Л ₃		
Система валов															Предельные отклонения в мкм																										
До 0,01		Верхнее	0	+0,6	+1,2	—	—	—	—	0	+1	+2	—	—	—	0	+3	—																							
		Нижнее	-1,2	-0,6	0	—	—	—	—	-2	-1	0	—	—	—	-3	0	—																							
Св. 0,01 до 0,03		Верхнее	0	+1	+2	—	—	—	—	0	+1,5	+3	—	—	—	0	+4	—																							
		Нижнее	-2	-1	0	—	—	—	—	-3	-1,5	0	—	—	—	-4	0	—																							
Св. 0,03 до 0,06		Верхнее	0	+1,5	+3	+5	+7	+9	0	+2	+4	+8	+10	0	+6	+12																									
		Нижнее	-3	-1,5	0	+2	+4	+6	-4	-2	0	+4	+6	-6	0	+6																									
Св. 0,06 до 0,1 (исключительно)		Верхнее	0	+2	+4	+6	+8	+10	0	+3	+6	+10	+12	0	+10	+16																									
		Нижнее	-4	-2	0	+2	+4	+6	-6	-3	0	+4	+6	-10	0	+6																									

Размеры от 0,1 до

Посадки

Предельные отклонения

Система отверстия	Интервалы номинальных размеров в мм	Наименования предельных отклонений
	От 0,1 до 0,3	Верхнее Нижнее
	Св. 0,3 до 0,6	Верхнее Нижнее
	Св. 0,6 до 1,0	Верхнее Нижнее
Система вала	Интервалы номинальных размеров в мм	Наименования предельных отклонений
	От 0,1 до 0,3	Верхнее Нижнее
	Св. 0,3 до 0,6	Верхнее Нижнее
	Св. 0,6 до 1,0	Верхнее Нижнее

ТАБЛИЦА 1.7

1 мм (исключительно)

с натягом

отверстий и валов (по ГОСТ 3047—66)

Классы точности									
1			2			2а		3	
Обозначения полей допусков									
отвер- стий	валов		отвер- стий	валов		отвер- стий	валов	отвер- стий	валов
	A_1	$Pr3_1$ $Pr2_1$		A	$Pr3$ $Pr2$				
Номера рядов предпочтительного применения									
II	—	—	I	II	I	I	I	I	—
Предельные отклонения в мкм									
+3 0	+10 +7	+8 +5	+5 0	+20 +15	+15 +10	+8 0	+29 +21	+13 0	+31 +18

+4 0	+12 +8	+10 +6	+6 0	+22 +16	+17 +11	+10 0	+33 +23	+15 0	+35 +20
---------	-----------	-----------	---------	------------	------------	----------	------------	----------	------------

+5 0	+14 +9	+12 +7	+7 0	+25 +18	+19 +12	+12 0	+37 +25	+18 0	+41 +23
---------	-----------	-----------	---------	------------	------------	----------	------------	----------	------------

Обозначения полей допусков									
валов	отверстий		валов	отверстий		валов	отвер- стий	валов	отвер- стий
	B_1	$Pr3_1$ $Pr2_1$		B	$Pr3$ $Pr2$				
Номера рядов предпочтительного применения									
II	—	—	I	II	II	I	—	I	—
Предельные отклонения в мкм									
−3 0	−7 −10	−5 −8	−0 −5	−15 −20	−10 −15	0 −8	−21 −29	0 −13	−18 −31

−4 0	−8 −12	−6 −10	−0 −6	−16 −22	−11 −17	0 −10	−23 −33	0 −15	−20 −35
---------	-----------	-----------	----------	------------	------------	----------	------------	----------	------------

−5 0	−9 −14	−7 −12	−0 −7	−18 −25	−12 −19	0 −12	−25 −37	0 −18	−23 −41
---------	-----------	-----------	----------	------------	------------	----------	------------	----------	------------

*

Размеры от 0,1

Переходные посадки

Предельные отклонения

Система отверстия	Интервалы номинальных размеров в мм	Наименова- ния предельных отклонений	1						
			отвер- стий	валов					отвер- стий
				H_1	C_1	X_1	L_1	A	
			A_1	H_1	C_1	X_1	L_1	A	
			II	—	II	—	—	I	
Система вала	От 0,1 до 0,3	Верхнее	+3	+3	0	-3	-6	+5	
		Нижнее	0	0	-3	-6	-9	0	
		Верхнее	+4	+4	0	-4	-8	+6	
		Нижнее	0	0	-4	-8	-12	0	
		Верхнее	+5	+5	0	-5	-10	+7	
		Нижнее	0	0	-5	-10	-15	0	
	Св. 0,3 до 0,6	Верхнее	+4	+4	0	-4	-8	+6	
		Нижнее	0	0	-4	-8	-12	0	
		Верхнее	+5	+5	0	-5	-10	+7	
		Нижнее	0	0	-5	-10	-15	0	
	Св. 0,6 до 1,0	Верхнее	+5	+5	0	-5	-10	+7	
		Нижнее	0	0	-5	-10	-15	0	
Система вала	Интервалы номинальных размеров в мм	Наименова- ния предельных отклонений	валов	отверстий					валов
				H_1	C_1	X_1	L_1	B	
			B_1	H_1	C_1	X_1	L_1	B	
			II	—	II	—	—	I	
			II	—	II	—	—	I	
			II	—	II	—	—	I	
Система вала	От 0,1 до 0,3	Верхнее	0	0	+3	+6	+9	0	
		Нижнее	-3	-3	0	+3	+6	-5	
		Верхнее	0	0	+4	+8	+12	0	
		Нижнее	-4	-4	0	+4	+8	-6	
		Верхнее	0	0	+5	+10	+15	0	
		Нижнее	-5	-5	0	+5	+10	-7	
Св. 0,3 до 0,6	От 0,6 до 1,0	Верхнее	0	0	+3	+6	+9	0	
		Нижнее	-3	-3	0	+3	+6	-5	
		Верхнее	0	0	+4	+8	+12	0	
		Нижнее	-4	-4	0	+4	+8	-6	
		Верхнее	0	0	+5	+10	+15	0	
		Нижнее	-5	-5	0	+5	+10	-7	

ТАБЛИЦА 1.8

до 1 мм (исключительно)

и посадки с зазором

отверстий и валов (по ГОСТ 3047—66)

Классы точности															
2									2a						
Обозначения полей допусков															
валов									отвер- стий	валов					
H	P	C	D	X	L	Ш	Ш1	A _{2a}		H _{2a}	P _{2a}	C _{2a}	X _{2a}	L _{2a}	Ш1 _{2a}
Номера рядов предпочтительного применения															
I	II	I	—	I	II	—	II	I	II	—	I	—	I	—	
Предельные отклонения в мкм															
+5 0	+3 —2	0 —5	—2 —7	—3 —8	—6 —11	—10 —15	—15 —20	+8 0	+8 0	+4 —4	0 —8	—3 —11	—6 —14	—15 —23	
+6 0	+3 —3	0 —6	—2 —8	—4 —10	—8 —14	—13 —19	—19 —25	+10 0	+10 0	+5 —5	0 —10	—4 —14	—8 —18	—19 —29	
+7 0	+4 —3	0 —7	—2 —9	—5 —12	—10 —17	—16 —23	—23 —30	+12 0	+12 0	+6 —6	0 —12	—5 —17	—10 —22	—23 —35	
Обозначения полей допусков															
отверстий									валов	отверстий					
H	P	C	D	X	L	Ш	Ш1	B _{2a}		H _{2a}	P _{2a}	C _{2a}	X _{2a}	L _{2a}	Ш1 _{2a}
Номера рядов предпочтительного применения															
—	—	I	—	II	II	—	—	I	—	—	I	—	II	—	
Предельные отклонения в мкм															
0 —5	+2 —3	+5 0	+7 +2	+8 +3	+11 +6	+15 +10	+20 +15	0 —8	0 —8	+4 —4	+8 0	+11 +3	+14 +6	+23 +15	
0 —6	+3 —3	+6 0	+8 +2	+10 +4	+14 +8	+19 +13	+25 +19	0 —10	0 —10	+5 —5	+10 0	+14 +4	+18 +8	+29 +19	
0 —7	+3 —4	+7 0	+9 +2	+12 +5	+17 +10	+23 +16	+30 +23	0 —12	0 —12	+6 —6	+12 0	+17 +5	+22 +10	+35 +23	

Продолжение табл. 1.8

Классы точности															
3а						4				5					
Обозначения полей допусков															
отвер- стий		валов				отвер- стий		валов			отвер- стий		валов		
$Ш1_3$	A_{3a}	C_{3a}	L_{3a}	$Ш1_{3a}$	$Ш2_{3a}$	A_4	C_4	$Ш1_4$	$Ш2_4$	A_5	C_5	CM_5^*			
рядов предпочтительного применения															
I	II	—	—	II	—	I	I	—	—	—	—	—			
Предельные отклонения в мкм															
—15 —28	+20 0	0 —20	—6 —26	—15 —35	— —	+35 0	0 —35	—15 —50	— —	+50 0	0 —50	+25 —25			
—19 —34	+25 0	0 —25	—8 —33	—19 —44	—35 —60	+40 0	0 —40	—19 —59	—35 —75	+60 0	0 —60	+30 —30			
—23 —41	+30 0	0 —30	—10 —40	—23 —53	—45 —75	+45 0	0 —45	—23 —68	—45 —90	+70 0	0 —70	+35 —35			
Обозначения полей допусков															
валов		отверстий				валов		отверстий			валов		отвер- стий		
$Ш1_3$	B_{3a}	C_{3a}	L_{3a}	$Ш1_{3a}$	$Ш2_{3a}$	B_4	C_4	$Ш1_4$	$Ш2_4$	B_5	C_5	CM_5^*			
рядов предпочтительного применения															
—	—	II	—	—	—	I	I	—	—	—	—	—			
Предельные отклонения в мкм															
+28 +15	0 —20	+20 0	+26 +6	+35 +15	— —	0 —35	+35 0	+50 +15	— —	0 —50	+50 0	+25 —25			
+34 +19	0 —25	+25 0	+33 +8	+44 +19	+60 +35	0 —40	+40 0	+59 +19	+75 +35	0 —60	+60 0	+30 —30			
+41 +23	0 —30	+30 0	+40 +10	+53 +23	+75 +45	0 —45	+45 0	+68 +23	+90 +45	0 —70	+70 0	+35 —35			

Продолжение табл. 1.8

Система отверстия	Интервалы номинальных размеров в мм	Наимено- вания предельных отклонений	Классы точности						
			6		7				
			Обозначения полей допусков						
			отвер- стий	—	отвер- стий	—			
			A_6	CM_6^*	A_7	CM_7^*			
			Предельные отклонения в мкм						
	От 0,1 до 0,3	Верхнее Нижнее	— —	— —	— —	— —			
	Св. 0,3 до 0,6	Верхнее Нижнее	+90 0	+45 —45	+140 0	+70 —70			
	Св. 0,6 до 1,0	Верхнее Нижнее	+100 0	+50 —50	+160 0	+80 —80			
Система вала	Интервалы номинальных размеров в мм	Наимено- вания предельных отклонений	Обозначения полей допусков						
			валов	—	валов	—			
			B_6	CM_6^*	B_7	CM_7^*			
			Предельные отклонения в мкм						
				От 0,1 до 0,3	Верхнее Нижнее	— —	— —	— —	— —
				Св. 0,3 до 0,6	Верхнее Нижнее	0 —90	+45 —45	0 —140	+70 —70
Св. 0,6 до 1,0	Верхнее Нижнее	0 —100		+50 —50	0 —160	+80 —80			
Примечание. * — поле допуска для размеров поверхностей, не относящихся к отверстиям и валам и не образующих соединения.									

Примечание. * — поле допуска для размеров поверхностей, не относящихся к отверстиям и валам и не образующих соединения.

Допуски и предельные отклонения размеров, указанные в стандартах, установлены для размеров деталей при температуре $+20^{\circ}\text{C}$ (нормальная температура по ГОСТ 9249—59).

Обозначение допусков и посадок на чертежах

Согласно ГОСТ 2.307—68, при обозначении допусков и посадок на чертежах непосредственно после номинального размера указывают

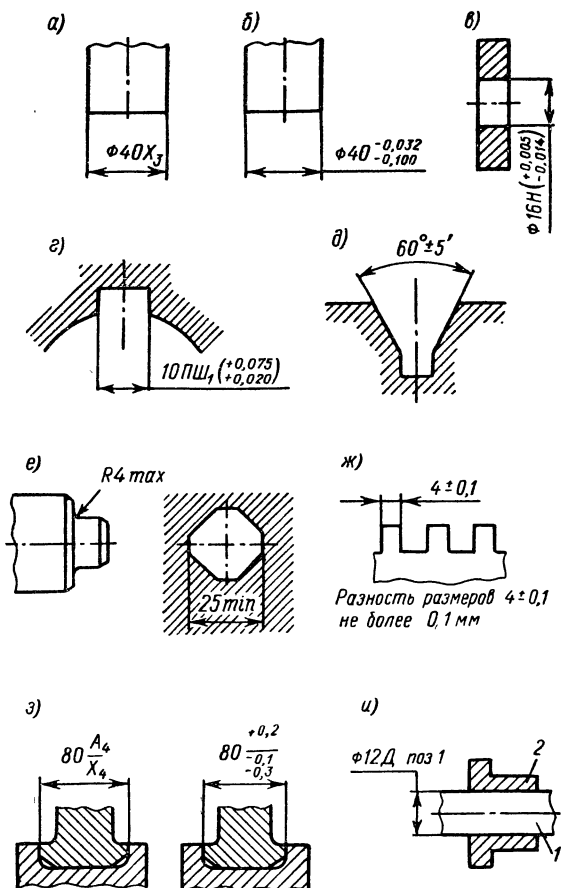


Рис. 1.4

условные обозначения полей допусков и посадок (рис. 1.4, а), или числовые значения предельных отклонений (рис. 1.4, б), или буквенное обозначение наряду с цифровым (рис. 1.4, в, г). Если предельные

Размеры от

Система отверстия.

Предельные отклонения

Классы точности	Обозначения полей допусков		Номера рядов предпочтительного применения	Наименования и знаки предельных отклонений					
	отверстий	валов			от 1 до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 18	
$\frac{08^*}{07}$	A_{08}	—	—	Верхнее Нижнее	+	3 0	4 0	4 0	5 0
	—	$Pr2_{07}$	—	Верхнее Нижнее	++ +	6 4	10,5 8	12,5 10	15 12
		$Pr1_{07}$	—	Верхнее Нижнее	++ +	4 2	6,5 4	8,5 6	10 7
$\frac{09^*}{08}$	A_{09}	—	—	Верхнее Нижнее	+	4 0	5 0	6 0	8 0
	—	$Pr2_{08}$	—	Верхнее Нижнее	++ +	9 6	16 12	19 15	23 18
		$Pr1_{08}$	—	Верхнее Нижнее	++ +	7 4	12 8	14 10	17 12
1	A_1	—	—	Верхнее Нижнее	+	6 0	8 0	9 0	11 0
	—	$Pr2_1$	—	Верхнее Нижнее	++ +	20 15	24 19	29 23	36 28
		$Pr1_1$	—	Верхнее Нижнее	++ +	17 12	20 15	25 19	31 23

ТАБЛИЦА 1.9

1 до 500 мм

Посадки с натягом

отверстий и валов

Интервалы номинальных размеров в мм											Номера стандартов	
св. 18 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 65	св. 65 до 80	св. 80 до 100	св. 100 до 120	св. 120 до 140	св. 140 до 160	св. 160 до 180	св. 180 до 260	св. 260 до 360		св. 360 до 500
Предельные отклонения в мкм											ГОСТ 11472—69	
6 0	7 0	8 0	10 0	12 0	14 0	16 0	20 0					
19 15	21 17	25 20	2 23	35 27	41 31	46 34	55 40					
12 8	13 9	16 11	19 13	23 15	27 17	32 20	38 23					
9 0	11 0	13 0	15 0	18 0	20 0	23 0	27 0					
28 22	33 26	40 32	47 37	55 43	64 50	72 56	88 68					
21 15	24 17	28 20	33 23	39 27	45 31	50 34	60 40					
13 0	15 0	18 0	21 0	24 0	— —	— —	— —					
44 35	54 43	66 53	72 59	86 71	94 79	110 92	118 100	126 108	— —	— —	— —	ОСТ НКМ 1041
37 28	45 34	54 41	56 43	66 51	69 54	81 63	83 65	86 68	— —	— —	— —	

Классы точности	Обозначения полей допусков		Номера рядов предпочтительного применения	Наименования и знаки предельных отклонений	Интервалы								
	отверстий	валов			от 1 до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 18	св. 18 до 24	св. 24 до 30	св. 30 до 40	св. 40 до 50	
Предельные													
2	A	—	I	Верхнее Нижнее	+	10 0	13 0	16 0	19 0	23 0	27 0		
	—	Gr	—	Верхнее Нижнее	+	27 17	33 20	39 23	48 29	62 39	77 50	87 60	
		Pr	II ¹	Верхнее Нижнее	+	18 12	23 15	28 18	34 22	42 28	52 35		
		Pl ¹	—	Верхнее Нижнее	+	16 10	21 13	26 16	32 20	39 25	47 30		
2a	A _{2a}	—	I	Верхнее Нижнее	+	14 0	18 0	22 0	27 0	33 0	39 0		
	—	Pr2 _{2a}	I	Верхнее Нижнее	+	32 18	41 23	50 28	60 33	74 41	81 48	99 60	109 70
		Pr1 _{2a}	I	Верхнее Нижнее	+	24 15	31 19	38 23	46 28	56 35	68 43		
3	A ₃	—	I	Верхнее Нижнее	+	20 0	25 0	30 0	35 0	45 0	50 0		
	—	Pr3 ₃	—	Верхнее Нижнее	+	—	—	110 70	115 80	145 100	165 115	175 125	
		Pr2 ₃	—	Верхнее Нижнее	+	—	—	70 40	80 45	100 55	115 65	125 75	
		Pr1 ₃	—	Верхнее Нижнее	+	—	55 30	65 35	75 40	95 50	110 60		

Примечание. * — в числителе указан класс точности отверстия,
¹ Поле допуска вала Pr является предпочтительным для применения

Продолжение табл. 1.9

номинальных размеров в мм													Номера стандартов	
св. 50 до 65	св. 65 до 80	св. 80 до 100	св. 100 до 120	св. 120 до 140	св. 140 до 160	св. 160 до 180	св. 180 до 220	св. 220 до 260	св. 260 до 310	св. 310 до 360	св. 360 до 440	св. 440 до 500		
отклонения в мкм														
30 0	35 0	40 0		45 0		50 0		60 0		ОСТ 1042				
105 75	120 90	140 105	160 125	190 150	220 180	260 215	300 255	355 300	400 350				475 415	545 485
65 45	85 60	95 70	110 80	125 95	145 115	165 135	195 160	220 185	260 220	300 260	ОСТ 1043			
55 35	70 45	85 58		105 75		135 100		170 130		ОСТ 1044				
46 0	54 0	63 0		73 0		84 0		95 0				ОСТ НКМ 1016		
133 87	148 102	178 124	198 144	233 170	253 190	273 210	308 236	356 284	431 350	471 390	557 460			637 540
83 53	89 59	106 71	114 79	132 92	140 100	148 108	168 122	186 140	222 170	242 190	283 220			315 252
60 0	70 0	80 0		90 0		100 0		120 0		ОСТ 1069				
210 150	225 165	260 190	280 210	325 245	355 275	410 320	450 360	515 415	565 465				670 550	740 620
150 90	165 105	195 125	210 140	245 165	275 195	325 235	365 275	420 320	470 370				550 430	620 500
135 75	160 90	185 105	200 120	230 140	250 160	285 185	305 205	360 240	395 275					

в знаменателе — класс точности пада.

только при размерах до 80 мм.

Размеры от 1
Система отверстий. Переходные
Предельные отклонения

Классы точности	Обозначения полей допусков		Наименования и знаки предельных отклонений		
	отверстий	валов			
$\frac{08^*}{07}$	A_{08}	—	Верхнее Нижнее	+	
	—	H_{07}	Верхнее Нижнее	+	
		P_{07}	Верхнее Нижнее	+	—
		C_{07}	Верхнее Нижнее	—	
		D_{07}	Верхнее Нижнее	—	—
$\frac{09^*}{08}$	A_{09}	—	Верхнее Нижнее	+	
	—	G_{08}	Верхнее Нижнее	+	+
		H_{08}	Верхнее Нижнее	+	+
		P_{08}	Верхнее Нижнее	+	—
		C_{08}	Верхнее Нижнее	—	

ТАБЛИЦА 1.10

до 500 мм

посадки и посадки с зазором

отверстий и валов

Интервалы номинальных размеров в мм												Номера стандартов
от 1 до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 18	св. 18 до 30	св. 30 до 60	св. 60 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180	св. 180 до 260	св. 260 до 360	св. 360 до 500	
Предельные отклонения в мкм												ГОСТ 11472—69
3 0	4 0	4 0	5 0	6 0	7 0	8 0	10 0	12 0	14 0	16 0	20 0	
2 0	2,5 0	2,5 0	3 0	4 0	4 0	5 0	6 0	8 0	10 0	12 0	15 0	
1 1	1,2 1,2	1,2 1,2	1,5 1,5	2 2	2 2	2,5 2,5	3 3	4 4	5 5	6 6	7,5 7,5	
0 2	0 2,5	0 2,5	0 3	0 4	0 4	0 5	0 6	0 8	0 10	0 12	0 15	
2 4	4 6,5	5 7,5	6 9	7 11	9 13	10 15	12 18	14 22	15 25	17 29	20 35	
4 0	5 0	6 0	8 0	9 0	11 0	13 0	15 0	18 0	20 0	23 0	27 0	
5 2	8 4	10 6	12 7	14 8	16 9	19 11	23 13	27 15	31 17	36 20	43 23	
3 0	5 1	5 1	6 1	8 2	9 2	10 2	13 3	15 3	18 4	20 4	25 5	
1,5 1,5	2 2	2 2	2,5 2,5	3 3	3,5 3,5	4 4	5 5	6 6	7 7	8 8	10 10	
0 3	0 4	0 4	0 5	0 6	0 7	0 8	0 10	0 12	0 14	0 16	0 20	

Классы точности	Обозначения полей допусков		Номера рядов предпочтительного применения	Наименования и знаки предельных отклонений	
	отверстий	валов			
$\frac{09^*}{08}$	—	D_{08}	—	Верхнее Нижнее	— —
1	A_1	—	—	Верхнее Нижнее	+ —
	—	G_1	—	Верхнее Нижнее	+ +
		T_1	—	Верхнее Нижнее	+ +
		H_1	—	Верхнее Нижнее	+ +
		P_1	—	Верхнее Нижнее	+ —
		C_1	II	Верхнее Нижнее	— —
		D_1	—	Верхнее Нижнее	— —
		X_1	—	Верхнее Нижнее	— —
	A	—	I	Верхнее Нижнее	+ —
2	—	G	II	Верхнее Нижнее	+ +

Продолжение табл. 1.10

Интервалы номинальных размеров в мм												Номера стандартов
от 1 до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 18	св. 18 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180	св. 180 до 260	св. 260 до 360	св. 360 до 500	
Предельные отклонения в мкм												
2 5	4 8	5 9	6 11	7 13	9 16	10 18	12 22	14 26	15 29	17 33	20 40	ГОСТ 11472—69
6 0	8 0	9 0	11 0	13 0	15 0	18 0	21 0	24 0	27 0	30 0	35 0	
10 6	13 8	16 9	20 11	24 13	28 16	33 19	38 23	45 26	52 30	58 35	65 40	ОСТ НКМ 1011
8 4	10 5	12 6	15 7	17 8	20 9	24 10	28 12	32 14	36 16	40 18	45 20	
5 1	6 1	8 2	10 2	12 2	14 2	16 3	19 3	22 4	25 4	28 4	32 5	
2 2	3 2	4 3	5 3	6 3	7 4	8 5	9 6	10 7	11 8	13 9	15 10	
0 4	0 5	0 6	0 8	0 9	0 11	0 13	0 15	0 18	0 20	0 22	0 25	
3 8	4 9	5 11	6 14	7 16	9 20	10 23	12 27	14 32	16 36	18 40	20 45	
6 12	10 18	13 22	16 27	20 33	25 41	30 49	36 58	43 68	50 79	56 88	68 108	
10 0	13 0	16 0	19 0	23 0	27 0	30 0	35 0	40 0	45 0	50 0	60 0	
13 6	16 8	20 10	24 12	30 15	35 18	40 20	45 23	52 25	60 30	70 35	80 40	

Классы точности	Обозначения полей допусков		Номера рядов предпочтительного применения	Наименования и знаки предельных отклонений		Интервалы							
	отверстий	валов				от 1 до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 18	св. 18 до 30	св. 30 до 40	св. 40 до 50	
													Предельные
2	—	<i>T</i>	—	Верхнее Нижнее	+ +	10 4	13 5	16 6	19 7	23 8	27 9		
		<i>H</i>	I	Верхнее Нижнее	+ +	7 1	9 1	12 2	14 2	17 2	20 3		
		<i>P</i>	II ¹	Верхнее Нижнее	+ —	3 3	4 4	5 5	6 6	7 7	8 8		
		<i>C</i>	I	Верхнее Нижнее	 —	0 6	0 8	0 10	0 12	0 14	0 17		
		<i>D</i>	II	Верхнее Нижнее	— —	3 9	4 12	5 15	6 18	8 22	10 27		
		<i>X</i>	I	Верхнее Нижнее	— —	8 18	10 22	13 27	16 33	20 40	25 50		
		<i>L</i>	II	Верхнее Нижнее	— —	12 25	17 35	23 45	30 55	40 70	50 85		
		<i>Ш</i>	—	Верхнее Нижнее	— —	18 35	25 45	35 60	45 75	60 95	75 115		
		<i>TX</i>	—	Верхнее Нижнее	— —	60 74	70 88	80 102	95 122	110 143	120 159	130 169	
		2a	<i>A_{2a}</i>	—	I	Верхнее Нижнее	+ 	14 0	18 0	22 0	27 0	33 0	39 0
<i>Г_{2a}</i>	—			Верхнее Нижнее	+ +	15 6	20 8	25 10	30 12	36 15	42 17		

(Продолжение табл. 1.10)

номинальных размеров в мм														Номера стандартов													
св. 50 до 65		св. 65 до 80		св. 80 до 100		св. 100 до 120		св. 120 до 140		св. 140 до 160		св. 160 до 180				св. 180 до 220		св. 220 до 260		св. 260 до 310		св. 310 до 360		св. 360 до 440		св. 440 до 500	
отклонения в мкм																											
30		35		40		45		50		60		ОСТ 1012															
10		12		13		15		15		20																	
23		26		30		35		40		45		ОСТ НKM 1016															
3		3		4		4		4		5																	
10		12		14		16		18		20		ОСТ НKM 1016															
10		12		14		16		18		20																	
0		0		0		0		0		0		ОСТ НKM 1016															
20		23		27		30		35		40																	
12		15		18		22		26		30		ОСТ НKM 1016															
32		38		45		52		60		70																	
30		40		50		60		70		80		ОСТ НKM 1016															
60		75		90		105		125		140																	
65		80		100		120		140		170		ОСТ НKM 1016															
105		125		155		180		210		245																	
95		120		150		180		210		250		ОСТ НKM 1016															
145		175		210		250		290		340																	
140	150	170	180	200	210	230	260	290	330	360	410	480	ОСТ НKM 1016														
186	196	224	234	263	273	299	332	362	411	441	507	577															
46		54		63		73		84		95		ОСТ НKM 1016															
0		0		0		0		0		0																	
50		58		67		73		90		102		ОСТ НKM 1016															
20		23		27		31		36		40																	

Классы точности	Обозначения полей допусков		Номера рядов предпочтительного применения	Наименования и знаки предельных отклонений		
	отверстий	валов				
2a		T_{2a}	—	Верхнее Нижнее	+	+
		H_{2a}	—	Верхнее Нижнее	+	+
		P_{2a}	—	Верхнее Нижнее	+	—
		C_{2a}	II	Верхнее Нижнее		—
		X_{2a}	—	Верхнее Нижнее	—	—
3	A_3	—	I	Верхнее Нижнее	+	
	—	C_3	I	Верхнее Нижнее		—
		X_3	I	Верхнее Нижнее	—	—
		$Ш_3$	II	Верхнее Нижнее	—	—

Продолжение табл. 1.10

Интервалы номинальных размеров в мм												Номера стандартов
от 1 до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 18	св. 18 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180	св. 180 до 260	св. 260 до 360	св. 360 до 500	
Предельные отклонения в мкм												ОСТ НКМ 1016
—	16	21	25	29	34	41	48	55	64	74	85	
—	4	6	7	8	9	11	13	15	17	20	23	
10	13	16	19	23	27	32	38	43	51	58	67	
1	1	1	1	2	2	2	3	3	4	4	5	
7	9	10	12	13	15	18	20	22	24	27	31	
2	3	5	6	8	10	12	15	18	23	27	31	ОСТ 1013
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	12	15	18	21	25	30	35	40	47	54	62	
6	10	13	16	20	25	30	36	43	50	56	68	
20	28	35	43	53	64	76	90	106	122	137	165	
20	25	30	35	45	50	60	70	80	90	100	120	ОСТ 1013
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20	25	30	35	45	50	60	70	80	90	100	120	
7	11	15	20	25	32	40	50	60	75	90	105	ОСТ 1013
32	44	55	70	85	100	120	140	165	195	225	255	
17	25	35	45	60	75	95	120	150	180	210	250	ОСТ 1013
50	65	85	105	130	160	195	235	285	330	380	440	

Классы точности	Обозначения полей допусков		Номера рядов предпочти- тельного применения	Наименования и знаки предельных отклонений		
	отверстий	валов				
3а	A_{3a}	—	II	Верхнее Нижнее	+	
	—	C_{3a}	—	Верхнее Нижнее	—	
4	A_4	—	I	Верхнее Нижнее	+	
	—	C_4	I	Верхнее Нижнее	—	
		H_4	I	Верхнее Нижнее	— —	
		L_4	—	Верхнее Нижнее	— —	
		$Ш_4$	—	Верхнее Нижнее	— —	
5	A_5	—	I	Верхнее Нижнее	+	
	—	C_5	I	Верхнее Нижнее	—	
		H_5	II	Верхнее Нижнее	— —	

Примечание. * — в числителе указан класс точности отверстия,

1 Поле допуска предпочтительно для применения в основном для по

Продолжение табл.1.10

Интервалы номинальных размеров в мм												Номера стандартов
от 1 до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 18	св. 18 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180	св. 180 до 260	св. 260 до 360	св. 360 до 500	
Предельные отклонения в мкм												
40 0	48 0	58 0	70 0	84 0	100 0	120 0	140 0	160 0	185 0	215 0	250 0	ОСТ НКМ 1017
0 40	0 48	0 58	0 70	0 84	0 100	0 120	0 140	0 160	0 185	0 215	0 250	
60 0	80 0	100 0	120 0	140 0	170 0	200 0	230 0	260 0	300 0	340 0	380 0	
0 60	0 80	0 100	0 120	0 140	0 170	0 200	0 230	0 260	0 300	0 340	0 380	
30 90	40 120	50 150	60 180	70 210	80 250	100 300	120 350	130 400	150 450	170 500	190 570	
60 120	80 160	100 200	120 240	140 280	170 340	200 400	230 460	260 530	300 600	340 680	380 760	
120 180	160 240	200 300	240 360	280 420	340 500	400 600	460 700	530 800	600 900	680 1000	760 1100	ОСТ 1015
0 120	0 160	0 200	0 240	0 280	0 340	0 400	0 460	0 530	0 600	0 680	0 760	
60 180	80 240	100 300	120 360	140 420	170 500	200 600	230 700	260 800	300 900	340 1000	380 1100	

в знаменателе — класс точности вала.

сажок подшипников качения.

Размеры от 1

Система вала.

Предельные отклонения

(по ГОСТ 11472—69, ОСТ 1142,

Классы точности	Обозначения полей допусков		Номера рядов предпочтительного применения	Наименования и знаки предельных отклонений	Интервалы									
	валов	отверстий			от 1 до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 18	св. 18 до 24	св. 24 до 30	св. 30 до 40	св. 40 до 50		
					Предельные									
08*	B_{07}	—	—	Верхнее Нижнее	— —	0 2	0 2,5	0 2,5	0 3	0 4	0 4			
07	—	Pr_{108}	—	Верхнее Нижнее	— —	4 7	6,5 10,5	8,5 12,5	10 15	13 19	14 21			
09*	B_{08}	—	—	Верхнее Нижнее	— —	0 3	0 4	0 4	0 5	0 6	0 7			
08	—	Pr_{109}	—	Верхнее Нижнее	— —	4 8	7 12	8 14	9 17	12 21	13 24			
2	B	—	I	Верхнее Нижнее	— —	0 6	0 8	0 10	0 12	0 14	0 17			
				—	Gr	—	Верхнее Нижнее	— —	13 27	15 33	17 39	22 48	30 62	40 77
	—	Pr	—				Верхнее Нижнее	— —	8 18	10 23	12 28	15 34	19 42	25 52
				2a	B_{2a}	—	II	Верхнее Нижнее	— —	0 9	0 12	0 15	0 18	0 21
	—	Pr_{2a}	—		Верхнее Нижнее	— —	18 32	23 41	28 50	33 60	41 74	48 81	60 90	70 109

Примечание. * — в числителе указан класс точности отверстия,

ТАБЛИЦА 1.12

Размеры от 1 до 500 мм

Система вала. Переходные посадки и посадки с зазором

Предельные отклонения валов и отверстий

Классы точности	Обозначения полей допусков	Номера рядов предпочтительного применения	Наименования и знаки предельных отклонений	Интервалы номинальных размеров в мм												Номера стандартов
				Предельные отклонения в мкм												
				от 1 до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 18	св. 18 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180	св. 180 до 260	св. 260 до 360	св. 360 до 500	
УЗ* 67	В _н	—	Верхнее	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			Нижнее	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	10	12	15	
	Г _{ос}	—	Верхнее	2	2,5	4,5	5	6	6	8	9	11	13	16	18	
			Нижнее	5	6,5	8,5	10	12	13	16	19	23	27	32	38	
	Н _{ос}	—	Верхнее	0	0,5	0,5	1	0	1	1	1	1	0	0	0	
			Нижнее	3	3,5	3,5	4	6	6	7	9	11	14	16	20	
ГОСТ 11472-69	—	—	Верхнее	1,5	2	2	2,5	3	3,5	4	5	6	7	8	10	
			Нижнее	1,5	2	2	2,5	3	3,5	4	5	6	7	8	10	
	С _{ос}	—	Верхнее	3	4	4	5	6	7	8	10	12	14	16	20	
			Нижнее	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Д _{ос}	—	Верхнее	5	8	9	11	13	16	18	22	26	29	33	40	
			Нижнее	2	4	5	6	7	9	10	12	14	15	17	20	

ГОСТ
11472—
69

6.

Классы точности	Обозначения полей допусков	Номера рядов предпочтительного применения	Наименования и знаки предельных отклонений	Интервалы номинальных размеров в мм												Номера стандарты		
				от 1 до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 18	св. 18 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180	св. 180 до 260	св. 260 до 360	св. 360 до 500			
1	—	II *	Верхнее	+	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20		
			Нижнее	—	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13	15		
		C ₁	Верхнее	+	6	8	9	11	13	15	18	21	24	27	30	35		
			Нижнее	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		D ₁	Верхнее	+	10	12	14	17	20	25	29	34	39	43	48	55		
B	—	I	Верхнее	+	16	22	28	34	41	50	60	71	83	96	103	131		
			Нижнее	+	6	10	13	16	20	25	30	36	43	50	56	68		
		II	Верхнее	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			Нижнее	—	6	8	10	12	14	17	20	23	27	30	35	40	40	
			Верхнее	—	2	3	4	5	6	7	8	10	12	15	18	20	20	
T	—	II	Нижнее	—	13	16	20	24	30	35	40	45	52	60	70	80		
			Верхнее	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		I	Нижнее	—	10	13	16	19	23	27	30	35	40	45	50	60	60	
			Верхнее	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			Нижнее	—	10	13	16	19	23	27	30	35	40	45	50	60	60	

2	H	I*	Верхнее Нижнее	+	3	4	4	5	6	7	8	9	10	11	12	15	OCT 1022
—	П	II**	Верхнее	+	7	9	12	14	17	20	23	26	30	35	40	45	OCT HKM 1026
			Нижнее	—	3	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20	
—	С	I	Верхнее	+	10	13	16	19	23	27	30	35	40	45	50	60	OCT HKM 1026
			Нижнее	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
—	Д	—	Верхнее	+	13	17	21	25	30	35	42	50	60	70	80	90	OCT HKM 1026
			Нижнее	+	3	4	5	6	8	10	12	15	18	22	26	30	
—	Х	II	Верхнее	+	22	27	33	40	50	60	70	90	105	120	140	160	OCT HKM 1026
			Нижнее	+	8	10	13	16	20	25	30	40	50	60	70	80	
—	Л	—	Верхнее	+	30	40	50	60	80	95	115	140	170	200	230	270	OCT HKM 1026
			Нижнее	+	12	17	23	30	40	50	65	80	100	120	140	170	
—	Ш	—	Верхнее	+	38	50	65	80	105	125	155	190	230	270	310	365	OCT HKM 1026
			Нижнее	+	18	25	35	45	60	75	95	120	150	180	210	250	
—	В _{2a}	II	Верхнее	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	OCT HKM 1026
			Нижнее	—	9	12	15	18	21	25	30	35	40	47	54	62	
—	Г _{2a}	—	Верхнее	—	1	2	3	3	3	3	4	4	4	5	6	7	OCT HKM 1026
			Нижнее	—	15	20	25	30	36	42	50	58	67	78	90	102	
—	Т _{2a}	—	Верхнее	+	—	—	1	2	4	5	5	6	8	9	10	10	OCT HKM 1026
			Нижнее	—	—	—	21	25	29	34	41	48	55	64	74	85	

Продолжение табл. 1.12

Классы точности	Обозначение полей допусков	Номера рядов предпочтительного применения	Наименования и знаки предельных отклонений	Интервалы номинальных размеров в мм										Номера стандартов	
				от 1 до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 18	св. 18 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180	св. 180 до 260	св. 260 до 360	св. 360 до 500
2a	—	I	Верхнее	—	—	6	8	10	12	14	16	20	22	26	28
			Нижнее	—	—	16	19	23	27	32	38	43	51	58	67
			Верхнее	+	9	12	15	20	24	28	34	41	49	57	64
			Нижнее	—	7	10	12	13	15	18	20	22	24	27	31
3	B ₃	I	Верхнее	+	14	18	22	27	33	39	46	54	63	73	84
			Нижнее	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			Верхнее	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			Нижнее	20	25	30	35	45	50	60	70	80	90	100	120
3	—	I	Верхнее	+	20	25	30	35	45	50	60	70	80	90	100
			Нижнее	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			Верхнее	+	32	44	55	70	85	100	120	140	165	195	225
			Нижнее	7	11	15	20	25	32	40	50	60	75	90	105
3	—	II	Верхнее	+	50	65	85	105	130	160	195	235	330	380	440
			Нижнее	17	25	35	45	60	75	95	120	150	180	210	250

3а	B_{3a}	—	—	Верхнее Нижнее	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	ОСТ НKM 1027
	—	C_{3a}	II	Верхнее Нижнее	+	40	48	58	70	84	100	120	140	160	185	215	250	250
4	B_4	—	I	Верхнее Нижнее	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	ОСТ 1024
	—	C_4	I	Верхнее	+	60	80	100	120	140	170	200	230	260	300	340	380	
				Нижнее	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
				Верхнее	+	60	80	100	120	140	170	200	230	260	300	340	380	
				Нижнее	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	—	X_4	II	Верхнее	+	90	120	150	180	210	250	300	350	400	450	500	570	
				Нижнее	—	30	40	50	60	70	80	100	120	130	150	170	190	
				Верхнее	+	120	160	200	240	280	340	400	460	530	600	680	760	
				Нижнее	—	60	80	100	120	140	170	200	230	260	300	340	380	
	—	Π_4	—	Верхнее	+	180	240	300	360	420	500	600	700	800	900	1000	1100	
				Нижнее	—	120	160	200	240	280	340	400	460	530	600	680	760	
5	B_5	—	I	Верхнее Нижнее	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	ОСТ 1025
	—	C_5	I	Верхнее	+	120	160	200	240	280	340	400	460	530	600	680	760	
				Нижнее	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
				Верхнее	+	180	240	300	360	420	500	600	700	800	900	1000	1100	
				Нижнее	—	60	80	100	120	140	170	200	230	260	300	340	380	
	—	X_5	—	Верхнее	+	180	240	300	360	420	500	600	700	800	900	1000	1100	
				Нижнее	—	60	80	100	120	140	170	200	230	260	300	340	380	

Примечание. * — в числителе указан класс точности отверстия, в знаменателе — класс точности вала;
 ** — поле допуска предпочтительно для применения в основном для посадок подшипников качения.

ТАБЛИЦА 1.13

Размеры от 1 до 500 мм

Предельные отклонения отверстий и валов
7, 8, 9 и 10-го классов точности
(по ГОСТ 1010 «Допуски большие»)

Классы точности	Обозначения полей допусков		Наименования и знаки предельных отклонений	Интервалы номинальных размеров в мм															
	Отверстий	Валов		Предельные отклонения в мкм **															
				от 1 до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 18	св. 18 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180	св. 180 до 260	св. 260 до 360	св. 360 до 500				
7	A_7	—	Верхнее Нижнее	+	250 0	300 0	360 0	430 0	520 0	620 0	740 0	870 0	1000 0	1150 0	1350 0	1550 0			
	—	B_7	Верхнее Нижнее	—	0 250	0 300	0 360	0 430	0 520	0 620	0 740	0 870	0 1000	0 1150	0 1350	0 1550			
	CM_7	*	Верхнее Нижнее	+	120 120	150 150	200 200	300 300	400 400	500 500	600 600	700 700	800 800	900 900	1000 1000	1100 1100			
	A_8	—	Верхнее Нижнее	+	400 0	480 0	580 0	700 0	840 0	1000 0	1200 0	1400 0	1600 0	1900 0	2200 0	2500 0			
8	—	B_8	Верхнее Нижнее	—	0 400	0 480	0 580	0 700	0 840	0 1000	0 1200	0 1400	0 1600	0 1900	0 2200	0 2500			
	CM_8	*	Верхнее Нижнее	+	200 200	300 300	400 400	500 500	600 600	700 700	800 800	900 900	1000 1000	1100 1100	1200 1200	1300 1300			

Продолжение табл. 1.13

Классы точности	Обозначения полей допусков		Наименования и знаки предельных отклонений	Интервалы номинальных размеров в мм													
	Отверстий	Валов		Предельные отклонения в мкм **													
				от 1 до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 18	св. 18 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180	св. 180 до 260	св. 260 до 360	св. 360 до 500		
9	A_9	—	Верхнее Нижнее	+	600 0	750 0	900 0	1100 0	1300 0	1600 0	1900 0	2200 0	2500 0	2900 0	3300 0	3800 0	
	—	B_9	Верхнее Нижнее	—	0 600	0 750	0 900	0 1100	0 1300	0 1600	0 1900	0 2200	0 2500	0 2900	0 3300	0 3800	
	CM_9	*	Верхнее Нижнее	+	300 300	400 400	500 500	600 600	800 800	1000 1000	1100 1100	1200 1200	1500 1500	1700 1700	2000 2000		
	A_{10}	—	Верхнее Нижнее	+	— —	1200 0	1500 0	1800 0	2100 0	2500 0	3000 0	3500 0	4000 0	4600 0	5400 0	6300 0	
10	—	B_{10}	Верхнее Нижнее	—	— —	0 1200	0 1500	0 1800	0 2100	0 2500	0 3000	0 3500	0 4000	0 4600	0 5400	0 6300	
	CM_{10}	*	Верхнее Нижнее	+	— —	600 600	700 700	900 900	1000 1000	1200 1200	1500 1500	1700 1700	2000 2000	2300 2300	2700 2700	3000 3000	

Примечания: * — поля допусков для размеров поверхностей, не относящихся к отверстиям и валам и не образующих соединений; ** — в технически обоснованных случаях допускается иное расположение полей допусков.

Примечания: * — поля допусков для размеров поверхностей, не относящихся к отверстиям и валам и не образующих соединений; ** — в технически обоснованных случаях допускается иное расположение полей допусков.

ТАБЛИЦА 1.14

Примеры замены непереподсчитываемых полей допусков валов
системы ОСТ предпочтительными

Посадки		Для диапазона диаметров в мм	Вероятность (p) сохра- нения натягов и зазоров при замене	Оценка степени заменяемости ¹
заменяемые	предпочти- тельные			
$\frac{A}{Gr}$	$\frac{A_{2a}}{Pr2_{2a}}$	3—500	0,99—0,69	Ф до 220 мм
$\frac{A}{Pr}$	$\frac{A_{2a}}{Pr1_{2a}}$	80—500	0,99—0,94	Ф для 18—260 мм
	$\frac{A}{Pr1_{2a}}$		0,93—0,99	Ф св. 260 мм
$\frac{A}{Pl}$	$\frac{A_{2a}}{Pr}$	3—80	0,99	В
$\frac{A_3}{Pr1_3}$	$\frac{A_3}{Pr2_{2a}}$	3—80	0,99	Ф
	$\frac{A_{2a}}{Pr2_{2a}}$		0,995	Ф
	$\frac{A_3}{Pr1_{2a}}$	80—50	0,99	—
	$\frac{A_{2a}}{Pr1_{2a}}$		0,999	Ф
$\frac{A_3}{Pr2_3}$	$\frac{A_3}{Pr2_{2a}}$	6—500	0,97—0,99	Ф
	$\frac{A_{2a}}{Pr2_{2a}}$		0,99	Ф
$\frac{A}{T}$	$\frac{A_{2a}}{Г}$	3—500	0,98	В
$\frac{A}{П}$	$\frac{A_{2a}}{H}$	3—500	0,97—0,98	Ф
$\frac{A}{Ш}$	$\frac{A}{Ш_1}$	3—500	0,83—0,89	—
$\frac{A_4}{Л_4}$	$\frac{A_{3a}}{Х_5}$	3—500	0,95—0,87	В
$\frac{A_4}{Ш_4}$	$\frac{A_4}{Х_5}$	3—500	0,88	—

¹ В — практически полная; Ф — функциональная.

отклонения показывают условными обозначениями, то необходимо проставлять и их числовые значения в следующих случаях:

а) номинальные размеры не входят в ряды нормальных линейных размеров (см. табл. 1.1) по ГОСТ 6636—69, например: $41,5 A (+0,027)$;

б) предельные отклонения установлены стандартами на определенные виды изделий, например, посадки шпонок (рис. 1.4, з), подшипников качения, деталей из пластмасс и т. д.;

в) применение полей допусков отверстий в системе вала (неосновные отверстия, см. рис. 1.4, в).

Только числовыми значениями следует указывать предельные отклонения угловых размеров (рис. 1.4, д).

При симметричном расположении поля допуска относительно номинального размера вписывают абсолютную величину отклонений после знаков \pm , например: $10 \pm 0,1$; $90^\circ \pm 10'$, а при одностороннем расположении предельные отклонения, равные нулю, не проставляют, например: $250^{+0,3}$; $250_{-0,3}$. При необходимости указать только один предельный размер (второй предельный размер ограничен каким-либо условием) после размерного числа указывают *max* или *min* (рис. 1.4, е).

Отклонения размеров не проставляют рядом с номинальными размерами, а оговаривают в технических требованиях, если предельные отклонения линейных размеров 5-го и более грубых классов точности или предельные отклонения угловых размеров многократно повторяются на чертеже (например, в виде следующих записей: «*Неуказанные предельные отклонения размеров: отверстий — по A_5 , валов — по B_5 , остальных — по SM_5* », «*Неуказанные предельные отклонения угловых размеров — по 6-й степени точности ГОСТ 8908—58*»), или, если необходимо, ограничить колебание размера одинаковых элементов детали (рис. 1.4, ж). На сборочных чертежах отклонения размеров проставляют в виде дроби, в числителе которой указывают обозначение поля допуска или числовые значения предельных отклонений отверстия, а в знаменателе — обозначение поля допуска или значения предельных отклонений вала (рис. 1.4, з). При указании предельных отклонений только одной из сопрягаемых деталей необходимо пояснить, к какой детали относятся эти отклонения (рис. 1.4, и).

Международная система допусков и посадок ИСО¹

Система ИСО так же, как и система ОСТ, является односторонней предельной и содержит систему отверстия и систему вала. В односторонней предельной системе поле допуска основной детали располагается по одну сторону от нулевой линии, причем нижняя граница поля допуска основного отверстия и верхняя граница поля допуска основного вала совпадают с нулевой линией.

Градации интервалов размеров в системах ИСО и ОСТ одинакова для диапазонов от 1 до 180 мм и св. 500 до 3150 мм, а для диапазонов св. 180 до 500 мм по ИСО имеются четыре интервала: 180—250; 250—315; 315—400; 400—500 мм вместо трех интервалов: 180—260; 260—360; 360—500 мм по ОСТ. Нормальная температура, как и в системе ОСТ, принята равной $+20^\circ \text{C}$.

¹ ИСО — Международная организация по стандартизации до 1946 г. носила название «Международная федерация объединений по стандартизации — ИСА». Система допусков и посадок ИСО разработана на базе системы допусков и посадок ИСА.

Допуски ИСО для размеров

Интервалы номинальных размеров в мм			Квали							
			01	0	1	2	3	4	5	6
			Допуски							
До 3 ¹			0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6
Св. 3 до 6			0,4	0,6	1,0	1,5	2,5	4	5	8
» 6 » 10			0,4	0,6	1,0	1,5	2,5	4	6	9
» 10 » 18			0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11
» 18 » 30			0,6	1,0	1,5	2,5	4	6	9	13
» 30 » 50			0,6	1,0	1,5	2,5	4	7	11	16
» 50 » 80			0,8	1,2	2	3	5	8	13	19
» 80 » 120			1,0	1,5	2,5	4	6	10	15	22
» 120 » 180			1,2	2	3,5	5	8	12	18	25
» 180 » 250			2	3	4,5	7	10	14	20	29
» 250 » 315			2,5	4	6	8	12	16	23	32
» 315 » 400			3	5	7	9	13	18	25	36
» 400 » 500			4	6	8	10	15	20	27	40
» 500 » 630			—	—	—	—	—	—	—	44
» 630 » 800			—	—	—	—	—	—	—	50
» 800 » 1000			—	—	—	—	—	—	—	56
» 1000 » 1250			—	—	—	—	—	—	—	66
» 1250 » 1600			—	—	—	—	—	—	—	78
» 1600 » 2000			—	—	—	—	—	—	—	92
» 2000 » 2500			—	—	—	—	—	—	—	110
» 2500 » 3150			—	—	—	—	—	—	—	135
Количество единиц допуска			—	—	—	—	—	—	7	10
Назначение квали- тетов			Особо точные изделия							
			Концевые меры длины				Калибры для			
Соответ- ствующие классы точности по ОСТ ²	Основной вал		03	04	05	06	07	08	1	2
	Основное отверстие								09	1

¹ Для размеров менее 1 мм допуски по квалитетам 14—16 не назначаются.

² Только для размеров от 1 до 3150 мм.

Допуски и отклонения для размеров св. 500 до 3150 мм установлены ИСО

ТАБЛИЦА 1.15

до 3150 мм

тетты											
7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
(IT) в мкм											
10	14	25	40	60	100	140	250	400	600		
12	18	30	48	75	120	180	300	480	750		
15	22	36	58	90	150	220	360	580	900		
18	27	43	70	110	180	270	430	700	1 100		
21	33	52	84	130	210	330	520	840	1 300		
25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1 600		
30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1 900		
35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2 200		
40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2 500		
46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2 900		
52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3 200		
57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3 600		
63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4 000		
70	110	175	280	440	700	1100	1750	2800	4 400		
80	125	200	320	500	800	1250	2000	3200	5 000		
90	140	230	360	560	900	1400	2300	3600	5 600		
105	165	260	420	660	1050	1650	2600	4200	6 600		
125	195	310	500	780	1250	1950	3100	5000	7 800		
150	230	370	600	920	1500	2300	3700	6000	9 200		
175	280	440	700	1100	1750	2800	4400	7000	11 000		
210	330	540	860	1350	2100	3300	5400	8600	13 500		
16	25	40	64	100	160	250	400	640	1 000		
Сопрягаемые поверхности изделий							Несопрягаемые поверхности изделий				
изделий											
2а	—	3	—	3а	4	—	5	—	7	8	9
2	2а	3									

в качестве временной рекомендации.

в качестве временной рекомендации.

В системе ИСО установлено 18 квалитетов (классов точности). Допуски размеров в квалитетах обозначаются буквами IT с числовым индексом квалитета: IT01; IT0; IT1; IT2 и т. д. Назначение квалитетов и допуски в них для размеров не более 3150 мм приведены в табл. 1.15.

Единица допуска i для размеров до 500 мм в квалитетах 5—16 определена по формуле

$$i = 0,45 \sqrt[3]{d_{\text{ср}}} + 0,001d_{\text{ср}},$$

где $d_{\text{ср}}$ — в мм, i — в мкм.

Эта же зависимость для единицы допуска принята в системе ОСТ для диапазона размеров св. 500 до 10 000 мм и в классах точности 2а, 3а, 7, 8, 9, 10 для диапазона размеров от 1 до 500 мм. Число единиц допуска, начиная с квалитета 6, возрастает в последующих квалитетах в геометрической прогрессии со знаменателем $\sqrt[5]{10} \approx 1,6$ (см. табл. 1.15). Для квалитетов 01, 0 и 1 допуски IT01, IT0, IT1 подсчитаны по следующим формулам:

$$\text{IT01} = 0,3 + 0,008d_{\text{ср}};$$

$$\text{IT0} = 0,5 + 0,012d_{\text{ср}};$$

$$\text{IT1} = 0,8 + 0,020d_{\text{ср}},$$

где $d_{\text{ср}}$ — в мм, IT01, IT0, IT1 — в мкм.

В квалитетах 2, 3 и 4 допуски определены как члены геометрической прогрессии между допусками в квалитетах 1 и 5 [6].

Допуски в квалитетах 01—5, 7, 8, 10, 14—16 для размеров от 1 до 500 мм идентичны допускам по ОСТ в классах точности 03—09, 2а, 3а, 7—10 для размеров от 1 до 500 мм. Соответствие квалитетов ИСО классам точности по ОСТ видно из сравнения допусков и чисел единиц допуска, приведенных в табл. 1.2; 1.3 и 1.15.

В системе ИСО понятие «квалитет» характеризует степень точности изделий независимо от полей допусков. В системе ОСТ понятие «класс точности» связано не только со степенью точности изделий, но и с определенными комплексами входящих в классы посадок, применение которых при данной точности целесообразно. Допуски же размеров концевых мер длины и калибров в системе ОСТ регламентированы отдельными стандартами.

В системе ИСО установлено по 28 условных обозначений полей допусков для отверстия и для вала (табл. 1.16). Для каждого поля допуска во всех квалитетах одно предельное отклонение (основное) установлено постоянным: верхние отклонения, отрицательные, (es) валов $a—g$ и (ES) отверстий $P—ZC$; нижние отклонения, положительные, (ei) валов $k—zc$ и (EI) отверстий $A—G$ ¹. Указанные основные отклонения не зависят от квалитета.

¹ Обозначения отклонений по рекомендации ИСО Р406 «Обозначение линейных и угловых допусков»: es — верхнее отклонение вала; ei — нижнее отклонение вала; ES — верхнее отклонение отверстия; EI — нижнее отклонение отверстия.

ТАБЛИЦА 1.16

Обозначения основных отклонений отверстий и валов для посадок системы ИСО

Отвер- стия	A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	J_S	J	K	M	N	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z	ZA	ZB	ZC									
Валы	a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	i_s	i	k	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc									
Назна- чение	Для посадок с зазором												Для переход- ных посадок					Для посадок с натягом																			
	Для по- садок с тепло- вым зазором																																				
	Увеличение зазоров												Увеличение натягов																								

Примечание. Валы и отверстия a, A, b, B предусмотрены только для диаметров более 1 мм, cd, CD, ef, EF, fg, FG — только для диаметров до 10 мм, i, J — только в квалитетах 6 и 7, t, T, v, V, y, Y — только для диаметров более 24, 14 и 18 мм соответственно. Отклонения i_s, J_s (равны $\pm \frac{IT}{2}$) не являются основными.

ТАБЛИЦА 1.17

валов по ИСО

отверстия

номинальных размеров в мм

св. 80 до 100	св. 100 до 120	св. 120 до 140	св. 140 до 160	св. 160 до 180	св. 180 до 200	св. 200 до 225	св. 225 до 250	св. 250 до 280	св. 280 до 315	св. 315 до 355	св. 355 до 400	св. 400 до 450	св. 450 до 500
отклонения в мкм													
380	410	460	520	580	660	740	820	920	1050	1200	1350	1500	1650
220	240	260	280	310	340	380	420	480	540	600	680	760	840
170	180	200	210	230	240	260	280	300	330	360	400	440	480
120	145			170			190			210		230	
72	85			100			110			125		135	
36	43			50			56			62		68	
12	14			15			17			18		20	
3	3			4			4			4		5	
13	15			17			20			21		23	
23	27			31			34			37		40	
37	43			50			56			62		68	
51	54	63	65	68	77	80	84	94	98	108	114	126	132
71	79	92	100	108	122	130	140	158	170	190	208	232	252
91	104	122	134	146	166	180	196	218	240	268	294	330	360
124	144	170	190	210	236	258	284	315	350	390	435	490	540

нижнее,
применения (стр. 74).

Вторые (неосновные) предельные отклонения — отрицательные ei , EI и положительные es , ES соответственно равны

$$ei(EI) = es(ES) - IT;$$

$$es(ES) = ei(EI) + IT,$$

где IT — допуск размера по квалитету.

Эти неосновные предельные отклонения размеров при одном и том же основном отклонении изменяются по квалитетам в зависимости от допусков [$IT5$, $IT6$, $IT7$ и т. д.] в соответствующих квалитетах (табл. 1.15 и 1.17).

Поля допусков отверстий и валов обозначаются буквами (одной или двумя) латинского алфавита с числовым индексом квалитета. Строчными буквами обозначаются поля допусков валов, а прописными — поля допусков отверстий. Основные отверстия и валы (в системах отверстий и вала) обозначаются соответственно H и h . Сочетание основного отверстия с основным валом образует скользящую посадку.

В системе ИСО сочетаниями полей допусков отверстий и валов одного и того же или разных квалитетов может быть образовано очень большое количество посадок. Для ограничения номенклатуры необходимого режущего и измерительного инструмента рекомендацией ИСО Р1829 установлены два ряда полей допусков для предпочтительного применения. В первую очередь должны применяться поля допусков

валов: $a11, b11, c11, h11, d9, h9, e8, f7, h7, g6, h6, js6, k6, n6, p6, r6, s6$;

отверстий: $A11, B11, C11, H11, D10, E9, H9, F8, H8, G7, H7, Js7, K7, N7, P7, R7, S7$.

Затем должны применяться поля допусков

валов: $d10, e9, d8, f8, h8, e7, js7, k7, m7, n7, p7, r7, s7, t7, u7, j6, m6, t6, g5, h5, js5, k5, m5, n5, p5, r5, s5, t5$;

отверстий: $D11, E10, H10, D9, F9, E8, Js8, K8, M8, N8, P8, R8, F7, M7, T7, G6, H6, Js6, K6, M6, N6, P6, R6, S6, T6$.

Основные отклонения валов предпочтительного применения приведены в табл. 1.17. Основные отклонения отверстий, как правило, равны по модулю и противоположны по знаку основным отклонениям валов, обозначенных теми же буквами, т. е.

для отверстий от A до H

$$EI = -es;$$

для отверстий от J до ZC

$$ES = -ei.$$

Исключение из этого правила составляют: основные отклонения отверстий диаметром св. 3 мм J, K, M, N до 8-го квалитета включительно и $P-ZC$ до 7-го квалитета включительно¹; основное отклонение отверстий N диаметром св. 3 мм 9—16 квалитетов равно нулю; предельные отклонения отверстий Js равны $\pm \frac{IT}{2}$.

¹ Указанные основные отклонения, а также основные отклонения для размеров св. 500 мм приведены в рекомендации ИСО Р286.

ТАБЛИЦА 1.18

Сопоставление посадок ОСТ и ИСО для размеров от 1 до 500 мм

Классы точности	Соответствующие посадки			
	ОСТ	ИСО	ОСТ	ИСО
	в системе отверстия		в системе вала	
1	A_1/Pr_{21}	H_8/s_5	—	—
	A_1/Pr_{11}	H_8/r_5	—	—
	A_1/G_1	H_8/n_5	G_1/B_1	N_8/h_5
	A_1/T_1	H_8/m_5	T_1/B_1	M_8/h_5
	A_1/H_1	H_8/k_5	H_1/B_1	K_8/h_5
	A_1/P_1	H_8/j_5	P_1/B_1	J_8/h_5
	A_1/C_1	H_8/h_5	C_1/B_1	H_8/h_5
	A_1/D_1	H_8/g_5	D_1/B_1	G_8/h_5
	A_1/X_1	H_8/f_5	X_1/B_1	F_8/h_5
2	A/Gp	H_7/u_7	Gp/B	U_7/h_7
	$A/Pr^{(1)}$	H_7/r_6	Pr/B	S_7/h_6
	A/Pl	H_7/p_6	—	—
	$A/G^{(1)}$	H_7/n_6	G/B	N_7/h_6
	A/T	H_7/m_6	T/B	M_7/h_6
	$A/H^{(1)}$	H_7/k_6	H/B	K_7/h_6
	$A/Pl^{(2, 1)}$	H_7/l_6	Pl/B	J_7/h_6
	$A/C^{(1)}$	H_7/h_6	C/B	H_7/h_6
	$A/D^{(1, 2, 3)}$	H_7/g_6	D/B	G_7/h_6
	A/X	H_7/f_7	X/B	F_7/h_7
	$A/L^{(2, 3)}$	H_7/e_8	L/B	E_7/h_8
	$A/Ш$	H_7/d_8	$Ш/B$	D_7/h_8
	$A/ТХ$	H_7/c_8	—	—
2a	$A_{2a}/Pr_{2a}^{(1)}$	H_8/u_8	Pr_{2a}/B_{2a}	U_8/h_7
	$A_{2a}/Pr_{1a}^{(1)}$	H_8/s_7	—	—
	A_{2a}/P_{2a}	H_8/n_7	G_{2a}/B_{2a}	N_8/h_7
	A_{2a}/T_{2a}	H_8/m_7	T_{2a}/B_{2a}	M_8/h_7
	A_{2a}/H_{2a}	H_8/k_7	H_{2a}/B_{2a}	K_8/h_7
	A_{2a}/P_{2a}	H_8/j_7	P_{2a}/B_{2a}	J_8/h_7
	A_{2a}/C_{2a}	H_8/h_7	C_{2a}/B_{2a}	H_8/h_7
	A_{2a}/X_{2a}	H_8/f_8	—	—

Продолжение табл. 1.18

Классы точности	Соответствующие посадки			
	ОСТ	ИСО	ОСТ	ИСО
	в системе отверстия		в системе вала	
3	$A_3/Pr3_s$ $A_3/Pr2_s$ $A_3/Pr1_s$ $A_3/C_3(1)$ $A_3/X_3(1, 2)$ $A_3/Ш_3(1, 2)$	H_8/z_7 H_8/y_7 H_8/x_7 H_8/h_8 $H_8/f_8(e_8)$ H_8/d_8	— — — C_3/B_3 X_3/B_3 $Ш_3/B_3$	H_8/h_8 $F_8(E_8)/h_8$ D_8/h_8
3a	A_{3a}/C_{3a}	H_{10}/d_{10}	C_{3a}/B_{3a}	D_{10}/h_{10}
4	$A_4/C_4(1)$ $A_4/X_4(1, 2)$ A_4/L_4 $A_4/Ш_4$	H_{11}/h_{11} H_{11}/d_{11} $H_{11}/c_{11}(b_{11})$ $H_{11}/b_{11}(a_{11})$	C_4/B_4 X_4/B_4 L_4/B_4 $Ш_4/B_4$	H_{11}/h_{11} D_{11}/h_{11} $C_{11}(B_{11})/h_{11}$ $B_{11}(A_{11})/h_{11}$
5	$A_5/C_5(1)$ $A_5/X_5(1)$	H_{13}/h_{12} H_{13}/b_{12}	C_5/B_5 X_5/B_5	H_{13}/h_{12} B_{13}/h_{12}

Примечания:

1. Поля допусков и посадок классов точности 2a, 3a, 7, 8, 9 и 10, а также посадок $Pr2_s$, $Pr1_s$, D_1 , X_1 и $ТХ$ полностью совпадают с соответствующими посадками системы ИСО.

2. Соответствие посадок преимущественного применения, помеченных индексами, означает:

(1) — допуски ИСО равны или меньше допусков ОСТ (до 40%) с выходом не более 1 мкм по минимуму материала;

(2) — поле допуска ИСО выходит за границы поля допуска ОСТ не более 10%;

(3) — поле допуска ИСО выходит за поле допуска ОСТ на 10—25%. Обозначение двумя или тремя индексами одновременно указывает близость полей допусков ИСО и ОСТ по приведенным выше критериям оценки.

3. В скобках () указаны посадки ИСО, имеющие аналогичный характер соединения.

4. Посадки $Pr3_s$; $Pr2_s$; $Pr1_s$; L_4 ; $Ш_4$ лишь с большим приближением соответствуют указанным посадкам ИСО.

Обозначения полей допусков и посадок так же, как и по ОСТ, указываются непосредственно после номинального размера, например соединение (посадка) отверстия $\varnothing 30F7$ или $\varnothing 30F7 \left(\begin{smallmatrix} +0,041 \\ -0,020 \end{smallmatrix} \right)$ с валом $\varnothing 30h6$ или $\varnothing 30h6 \left(\begin{smallmatrix} 0 \\ -0,013 \end{smallmatrix} \right)$ обозначается $\varnothing 30 F7/h6$ или $\varnothing 30 \frac{F7}{h6}$. Числовые значения отклонений указываются так же, как и по ОСТ. Предельные отклонения, равные нулю по ИСО, должны указываться цифрой 0.

Примеры посадок по системе ИСО и их соответствие посадкам по системе ОСТ приведены в табл. 1.18.

Допуски и посадки деталей из пластмасс

На детали из пластмасс распространяется система допусков и посадок ОСТ. Однако специфические свойства пластмасс (в 5—10 раз больший, чем у стали, коэффициент линейного расширения, в 10—100 раз меньший модуль упругости, изменение размеров в зависимости от времени и окружающей среды и т. д.) существенно влияют на характер соединения деталей и требуют, как правило, большие натяги в неподвижных соединениях и большие зазоры — в подвижных [13].

Для деталей из пластмасс ГОСТ 11710—71 установлены дополнительные поля допусков $Pr1_{3a}$, $Pr2_{3a}$, $Pr1_4$, $Pr2_4$, дающие увеличенные натяги, и поля допусков Sh_4 , $Sh1_4$, $Sh2_4$, X_{4a} , дающие увеличенные зазоры. Дополнительные поля допусков H_3 и H_{3a} для переходных посадок введены также из-за размерной нестабильности деталей из пластмасс. Пластмассы с низким модулем упругости могут иметь фактически переходные посадки при применении некоторых полей допусков посадок с натягом [1].

Дополнительными полями допусков классов точности 3, 4, 4а и 6 (ГОСТ 11710—71) установлены допуски размеров, идентичные допускам соответственно 9, 11, 12 и 13 квалитетов ИСО (табл. 1.19 и 1.20).

Для пластмассовых деталей по ГОСТ 11710—71 рекомендуется применять:

- а) для сопрягаемых поверхностей валов и отверстий и для ответственных несопрягаемых деталей следующие поля допусков: $A_{2a} = C_{2a}$ (для отверстий); X_{3a} (для валов); $Pr2_{3a}$; H_3 ; C_3 ; X_3 ; Sh_3 ; $Pr2_{3a}$; $Pr1_{3a}$; H_{3a} ; C_{3a} ; $Pr2_4$; $Pr1_4$; Sh_4 ; $Sh1_4$; $Sh2_4$; C_4 ; X_4 ; C_{4a} ; X_{4a} ; C_6 ;
- б) для неотвечественных размеров поля допусков, установленные в классах точности 7, 8, 9 и 10 по ОСТ 1010.

Для металлических деталей, соединяемых с пластмассовыми, рекомендуется применять поля допусков основных отверстий и основных валов классов точности 2а, 3, 3а и 4.

Допуски и предельные отклонения размеров деталей из пластмасс, введенные ГОСТ 11710—71, установлены для размеров деталей при температуре $+20^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха 65%. Уклоны должны располагаться в поле допуска.

Контроль пластмассовых деталей, изготавливаемых литьем под давлением и прессованием, должен производиться после съема с пресс-формы и термообработки: не раньше, чем через 12 ч — деталей классов точности 3, 3а, через 6 ч — деталей 4—6-го классов точности и 3 ч — деталей 7—10-го классов точности.

Детали из пластмасс. Система отверстия. Пре

Классы точности	Обозначения полей допусков валов	Наименования и знаки предельных отклонений	Интервалы									
			+	от 1 до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 14	св. 14 до 18	св. 18 до 24	св. 24 до 30	св. 30 до 40	св. 40 до 50
				Предельные								
3	H_3	Верхнее Нижнее	+	25 0	30 0	36 0	43 0	52 0	62 0			
3а	$Pr2_{3a}$	Верхнее	+	66	83	100	120	130	157	172	212	236
		Нижнее	+	26	35	42	50	60	73	88	112	136
	$iPr1_{3a}$	Верхнее	+	—	—	—	—	—	—	—	168	197
		Нижнее	+	—	—	—	—	—	—	—	68	97
	H_{3a}	Верхнее	+	40	48	58	70	84	100			
		Нижнее		0	0	0	0	0	0			
4	$Pr2_4$	Верхнее	+	170	215	260	316	348	428	475	600	680
		Нижнее	+	110	140	170	206	238	298	345	440	520
	$Pr1_4$	Верхнее	+	120	155	187	240	260	318	348	434	485
		Нижнее	+	60	80	97	130	150	188	218	274	325
	$Шn_4$	Верхнее	—	270	270	280	290	300	310	320		
		Нижнее	—	330	345	370	400	430	470	480		
	$Ш1_4$	Верхнее	—	—	485	505	520	540	560	580		
		Нижнее	—	—	560	595	630	670	720	740		
	$Ш2_4$	Верхнее	—	—	860	900	920	960	1000	1050		
		Нижнее	—	—	935	990	1030	1090	1160	1210		
4а	$C_{4a} = B_{4a}$	Верхнее		0	0	0	0	0	0			
		Нижнее	—	100	120	150	180	210	250			
	X_{1a}	Верхнее	—	140	140	150	150	160	170	180		
		Нижнее	—	240	260	300	330	370	420	430		
6	$C_6 = B_6$	Верхнее		0	0	0	0	0	0			
		Нижнее	—	140	180	220	270	330	390			

Примечание. Предусматриваемые на деталях уклоны должны рас

Детали из пластмасс. Система вала. Предель

Классы точности	Обозначения полей допусков отверстий	Наименования и знаки предельных отклонений	Интервалы									
			от 1 до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 14	св. 14 до 18	св. 18 до 24	св. 24 до 30	св. 30 до 40	св. 40 до 50	
			Предельные									
3	H_3	Верхнее Нижнее	—	0 25	0 30	0 36	0 43	0 52	0 62			
3а	$Pr2_{3a}$	Верхнее	—	26	35	42	50	60	73	88	112	136
		Нижнее	—	66	83	100	120	130	157	172	212	236
	$Pr1_{3a}$	Верхнее	—	—	—	—	—	—	—	—	68	97
		Нижнее	—	—	—	—	—	—	—	—	168	197
	H_{3a}	Верхнее	—	0	0	0	0	0	0	0		
		Нижнее	—	40	48	58	70	84		100		
4	$Pr2_4$	Верхнее	—	110	140	170	206	238	298	345	440	520
		Нижнее	—	170	215	260	316	348	428	475	600	680
	$Pr1_4$	Верхнее	—	60	80	97	130	150	188	218	274	325
		Нижнее	—	120	155	187	240	260	318	348	434	485
	$Шn_4$	Верхнее	+	330	345	370	400		430		470	480
		Нижнее	+	270	270	280	290		300		310	320
	$Ш1_4$	Верхнее	+	—	560	595	630		670		720	740
		Нижнее	+	—	485	505	520		540		560	580
	$Ш2_4$	Верхнее	+	—	935	990	1030		1090		1160	1210
		Нижнее	+	—	860	900	920		960		1000	1050
4а	$C_{4a} = A_{4a}$	Верхнее	+	100	120	150	180		210		250	
		Нижнее		0	0	0	0		0		0	
	X_{4a}	Верхнее	+	240	260	300	330		370		420	430
		Нижнее	+	140	140	150	150		160		170	180
6	$C_6 = A_6$	Верхнее	+	140	180	220	270		330		390	
		Нижнее		0	0	0	0		0		0	

Примечание. Предусматриваемые на деталях уклоны должны

5. ДОПУСКИ И ПОСАДКИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

Допуски подшипников качения

Качество подшипников качения главным образом определяется точностью основных размеров (d , D , B и T) и точностью вращения, которая характеризуется радиальным и осевым биениями дорожек качения, внутреннего и наружного колец.

Согласно ГОСТ 520—71, подшипники делятся на следующие классы точности (в порядке повышения точности): 0; 6; 5; 4; 2. Предельные отклонения размеров, формы и расположения поверхностей подшипников приведены в табл. 1.21—1.27, нормы для шероховатости посадочных и торцовых поверхностей колец подшипников — в табл. 1.28.

Нормы, указанные в таблицах для радиального и осевого биений подшипников с диаметром отверстия $d \geq 3$ мм классов точности 0, 6 и 5, предназначены как для контроля в собранном виде, так и в деталях. Радиальное и осевое биения подшипников с диаметром отверстия $d \geq 3$ мм классов точности 0, 6 и 5 контролируются в собранном виде, подшипников с диаметром отверстия $d < 3$ мм и подшипников классов точности 4 и 2 контролируются в деталях.

Биения разъемных радиально-упорных шариковых и радиальных роликовых подшипников с цилиндрическими роликами, а также конических роликовых подшипников с выпуклыми поверхностями качения допускается контролировать в деталях. Осевое биение упорных шариковых подшипников контролируется в деталях.

Биение колец подшипников классов точности 0 и 6, не имеющих механических клеев, контролируется от любого из торцов.

Примечания к табл. 1.21—1.27. В табл. 1.21—1.27 приняты следующие обозначения параметров (по ГОСТ 520—71):

d — диаметр отверстия внутреннего кольца радиального и радиально-упорного подшипника (рис. 1.5, a , b) и тугого кольца одинарного упорного подшипника (рис. 1.5, e).

Для конического отверстия (рис. 1.5, d):

d — меньший диаметр;

d_k — больший диаметр;

d_2 — диаметр отверстия тугого кольца двойного упорного подшипника (рис. 1.5, g);

D — диаметр наружной поверхности наружного кольца радиального и радиально-упорного подшипника и свободного кольца упорного подшипника (рис. 1.5, a , b , e , g);

$d_{ср}$; $D_{ср}$ — средний диаметр отверстия, наружной цилиндрической поверхности кольца подшипника (среднее арифметическое наибольшего и наименьшего значений диаметра в крайних сечениях кольца; крайнее сечение — сечение, отстоящее от плоскости, прилегающей к торцу кольца подшипника на расстоянии, равном удвоенной величине номинальной координаты фаски);

B — ширина колец подшипников (радиальных и радиально-упорных) при одинаковой ширине внутреннего и наружного колец (рис. 1.5, a) и ширина вну-

тренного кольца подшипников (радиальных и радиально-упорных) в случае, если ширины колец неодинаковы (рис. 1.5, б);

C — ширина наружного кольца подшипников (радиальных и радиально-упорных) при неодинаковой ширине внутреннего и наружного колец (рис. 1.5, б);

T — монтажная высота роликового радиально-упорного подшипника;

H — высота одинарного упорного подшипника (рис. 1.5, в);

H_2 — высота упорного двойного подшипника (рис. 1.5, г);

Δd и Δd_k — предельные отклонения диаметров конического отверстия в двух крайних сечениях.

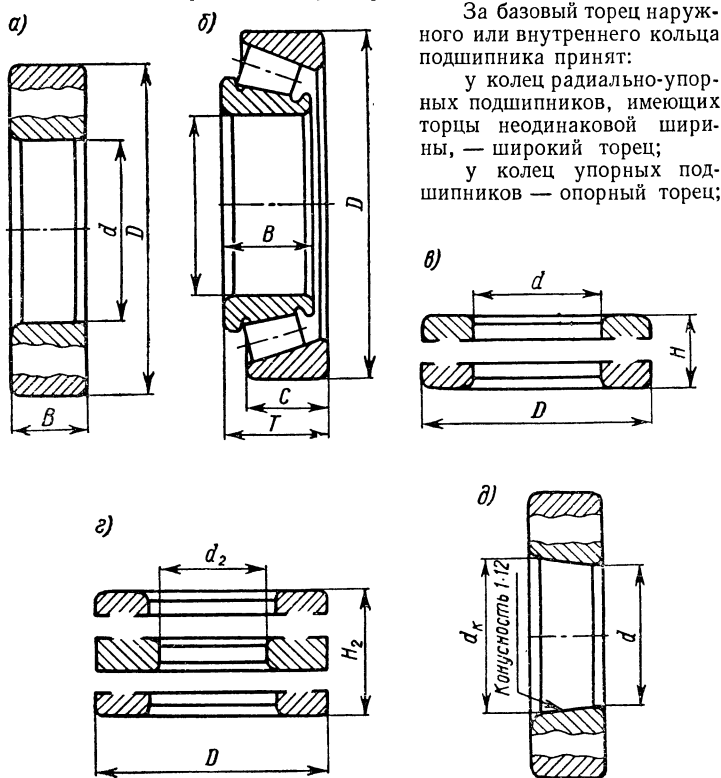


Рис. 1.5

у колец радиальных подшипников — торец, свободный от маркировки;

у колец немаркируемых подшипников, а также в случае необходимости и у колец маркируемых подшипников противобазовый торец

**Предельные отклонения размеров, формы и расположения поверхностей
радиально-упорных**
(по ГОСТ

Интервалы номинальных диаметров d в мм			Класс точности 0									
			Предельные отклонения в мкм						Непо- стоян- ство шири- ны колец U_p	Ра- диаль- ное биение дорож- ки каче- ния R_i	Биение торца относи- тельно отвер- стия S_i	
			диаметра цилиндрического отверстия				ширины колец B					
			d_{cp}		d^*							
ниж- нее	верх- нее	ниж- нее	верх- нее	верх- нее	ниж- нее	в мкм, не более						
От	0,6	до	2,5	-8	0	-9	+1	0	-40	12	10	20
Св.	2,5	»	10	-8	0	-10	+2	0	-120	15	10	20
»	10	»	18	-8	0	-11	+3	0	-120	20	10	20
»	18	»	30	-10	0	-13	+3	0	-120	20	13	20
»	30	»	50	-12	0	-15	+3	0	-120	20	15	20
»	50	»	80	-15	0	-19	+4	0	-150	25	20	25
»	80	»	120	-20	0	-25	+5	0	-200	25	25	25
»	120	»	180	-25	0	-31	+6	0	-250	30	30	30
»	180	»	250	-30	0	-38	+8	0	-300	30	40	30
»	250	»	315	-35	0	-44	+9	0	-350	35	50	35
»	315	»	400	-40	0	-50	+10	0	-400	40	60	40
»	400	»	500	-45	0	-57	+12	0	-450	45	65	45
»	500	»	630	-50	0	-64	+14	0	-500	—	70	—
»	630	»	800	-75	0	—	—	0	-750	—	—	—
»	800	»	1000	-100	0	—	—	0	-1000	—	—	—
»	1000	»	1250	-125	0	—	—	0	-1250	—	—	—
»	1250	»	1600	-160	0	—	—	0	-1600	—	—	—

П р и м е ч а н и я:

* — только для подшипников серий диаметров 8, 9, 1, 2, 3 и 4, причем
** — только для подшипников серий диаметров 8, 9, 1, 7, 2, 3 и 4, причем для подшипников после естественного старения.

1. Для замены шариковых и роликовых подшипников класса точно других машин при наличии износа шеек валов допускается изготовление под внутреннего кольца смещено в минусовую сторону на величину допуска на чение буквы «М».

2. Предельные отклонения ширины внутренних колец подшипников ширины кольца должен быть номинал.

3. Непостоянство ширины внутренних колец с коническим отверстием
4. Для подшипников класса точности 0 с коническим отверстием, пред ное биение внутренних колец не должно превышать 150% величин, указан в таблице для d_{cp} со знаком +. Непостоянство диаметра отверстия не должно

5. Средняя конусообразность отверстий шариковых и роликовых под

6. Для диаметров отверстий d подшипников класса точности 0 после в данной таблице.

ТАБЛИЦА 1.21

внутренних колец шариковых и роликовых радиальных и шариковых подшипников

520—71)

Класс точности 6										
Предельные отклонения в мкм								Непостоянство ширины колец U_p	Радиальное биение дорожки качения R_i	Биение торца относительно отверстия S_i
диаметра цилиндрического отверстия						ширины колец B				
d_{cp}		d^{**}								
ниж-нее	верх-нее	ниж-нее	верх-нее	ниж-нее***	верх-нее***	верх-нее	ниж-нее	в мкм, не более		
-7	0	-8	+1	-8	+1	0	-40	10	5	10
-7	0	-8	+1	-9	+2	0	-120	10	6	10
-7	0	-8	+1	-10	+3	0	-120	10	7	10
-8	0	-9	+1	-11	+3	0	-120	10	8	10
-10	0	-11	+1	-13	+3	0	-120	10	10	10
-12	0	-14	+2	-16	+4	0	-150	12	10	12
+15	0	-18	+3	-20	+5	0	-200	12	13	12
-18	0	-21	+3	-24	+6	0	-250	15	18	15
-22	0	-26	+4	-30	+8	0	-300	15	20	15
-25	0	-30	+5	-34	+9	0	-350	17	25	17
-30	0	-35	+5	-40	+10	0	-400	20	30	20
-35	0	-41	+6	-47	+12	0	-450	22	35	22
-40	0	-48	+8	-55	+15	0	-500	25	40	25
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

для серий диаметров 8,9 — до $d \leq 10$ мм, 1 — до $d \leq 40$ мм и 2 — до $d \leq 180$ мм; для серий диаметров 8 и 9 — до $d \leq 10$ мм, 1 — до $d \leq 60$ мм; *** — только

сти 0 во время ремонта автомобилей, тракторов, сельскохозяйственных и шипников класса точности 0, у которых поле допуска на диаметр отверстия средний диаметр. Такие подшипники должны иметь перед условным обозначением коническим отверстием не нормированы, однако верхним пределом для

самоустанавливающихся подшипников не контролируется.

назначенных для монтажа на закрепительных или стяжных втулках, радиальных в таблице, а отклонения диаметра d — 300% величин, указанных превышать поле допуска диаметра цилиндрического отверстия d .

шипников класса точности 6 не более 50% допуска на d_{cp} .

естественного старения действительны предельные отклонения, указанные

Интервалы номинальных диаметров d в мм				Класс точности 5											
				Предельные отклонения в мкм								Непостоянство колец U_p	ширины Биение базового торца от- носительно отверстия S_l		
														диаметра цилиндрического отверстия	
				d_{cp}		d^*				верх- нее	ниж- нее			в мкм,	
ниж- нее	верх- нее	ниж- нее	верх- нее	ниж- нее ***	верх- нее ***	верх- нее	ниж- нее								
От	6	до	2,5	-15	0	-15	0	-15	0	0	-40	5	7		
Св.	2,5	»	10	-15	0	-15	0	-15	0	0	-40	5	7		
»	10	»	18	-15	0	-15	0	-17	+2	0	-80	5	7		
»	18	»	30	-16	0	-16	0	-18	+2	0	-120	5	8		
»	30	»	50	-18	0	-18	0	-10	+2	0	-120	5	8		
»	50	»	80	-19	0	-19	0	-11	+2	0	-150	6	8		
»	80	»	120	-10	0	-10	0	-12	+2	0	-200	7	9		
»	120	»	180	-13	0	-13	0	-16	+3	0	-250	8	10		
»	180	»	250	-15	0	-15	0	-19	+4	0	-300	10	11		
»	250	»	315	-18	0	-18	0	-22	+4	0	-350	13	13		
»	315	»	400	-23	0	-23	0	-28	+5	0	-400	15	15		

* — только для шариковых радиальных и радиально-упорных подшипников;
** — непостоянство диаметра и средняя конусообразность отверстий шаров

Интервалы номинальных диаметров d в мм				Класс					
				Предельные отклонения					
				диаметра цилиндрического отверстия					
				d_{cp}		d^*		d^{***}	
				ниж- нее	верх- нее	ниж- нее	верх- нее	ниж- нее	верх- нее
От	0,6	до	2,5	-4	0	-4	0	-4	0
Св.	2,5	»	10	-4	0	-4	0	-5	+1
»	10	»	18	-4	0	-4	0	-5	+2
»	18	»	30	-4	0	-4	0	-6	+2
»	30	»	50	-4	0	-4	0	-6	+2
»	50	»	80	-5	0	-5	0	-7	+2
»	80	»	120	-5	0	-5	0	-7	+2
»	120	»	150	-6,5	0	-6,5	0	-9	+2
»	150	»	180	-6,5	0	-6,5	0	-9	+2
»	180	»	250	-9,0	0	-9,0	0	-12	+3

Примечание. * — только для подшипников серий диаметров 8, 9, шариковых радиальных и радиально-упорных подшипников; *** — только Непостоянство диаметра и средняя конусообразность отверстий шаро-

Продолжение табл. 1.21

Класс точности 4																	
Радиальное биение дорожки качения R_t		Осевое биение дорожки качения A_t^{**}		Предельные отклонения в мкм										Непостоянство ширины колец U_p	Биение базового торца относительно отверстия S_t	Радиальное биение дорожки качения R_t	Осевое биение дорожки качения A_t^{**}
				диаметра цилиндрического отверстия						ширины колец B							
				d_{cp}			d^*										
не более		ниж-нее	верх-нее	ниж-нее	верх-нее	ниж-нее***	верх-нее***	верх-нее	ниж-нее	в мкм, не более							
3	7	-4	0	-4	0	-4	0	0	-40	2,5	3	2,5	3	3	3		
3,5	7	-4	0	-4	0	-5	+1	0	-40	2,5	3	2,5	3	3	3		
3,5	7	-4	0	-4	0	-6	+2	0	-80	2,5	3	2,5	3	3	3		
4	8	-5	0	-5	0	-7	+2	0	-120	2,5	4	3	3	4	4		
5	8	-6	0	-6	0	-8	+2	0	-120	3	4	4	4	4	4		
5	8	-7	0	-7	0	-9	+2	0	-150	4	5	5	5	4	4		
5	9	-8	0	-8	0	-10	+2	0	-200	4	5	5	5	5	5		
8	10	-10	0	-10	0	-13	+3	0	-250	5	6	6	6	7	7		
10	13	-12	0	-12	0	-16	+4	0	-300	6	7	8	8	8	8		
13	15																
15	20																

9, 1, 7, 2, 3 и 4, причем для серий диаметров 8 и 9 — до $d \leq 10$ мм;*** — только для подшипников после естественного старения.
ковых и роликовых подшипников не более 50% допуска на d_{cp} .

точности 2			Непостоянство ширины колец U_p	Биение базового торца относительно отверстия S_i	Радиальное биение дорожки качения R_t	Осевое биение дорожки качения A_t^{**}
в мкм						
ширины колец B						
ниж-нее	верх-нее	в мкм, не более				
—40	0	2	2	2	2	
—40	0	2	2	2	2	
—80	0	2	2	2	2	
—120	0	2	2	2,5	2,5	
—120	0	2	2	2,5	2,5	
—125	0	2	2	2,5	2,5	
—125	0	2,5	2,5	2,5	2,5	
—125	0	2,5	2,5	2,5	2,5	
—125	0	4	4	5	5	
—150	0	5	5	6	7	

1, 2 и 3, причем для серий диаметров 8 и 9 — до $d \leq 10$ мм; ** — только для подшипников после естественного старения.
ковых и роликовых подшипников не более 50% допуска на d_{cp} .

**Предельные отклонения размеров, формы и расположения поверхно-
радиально-упор**
(по ГОСТ

Интервалы номинальных диаметров D в мм			Класс точности 0						
			Предельные отклонения наружного диаметра в мкм						Радиаль- ное биение дорожки качения R_a
			D_{cp}		D^*		D^{**}		в мкм, не более
			верх- нее	ниж- нее	верх- нее	ниж- нее	верх- нее	ниж- нее	
От	2,5	до 6	0	-8	+1	-9	—	—	15
Св.	6	» 18	0	-8	+2	-10	+5	-13	15
»	18	» 30	0	-9	+2	-11	+6	-15	15
»	30	» 50	0	-11	+3	-14	+8	-19	20
»	50	» 80	0	-13	+4	-17	+10	-23	25
»	80	» 120	0	-15	+5	-20	+13	-28	35
»	120	» 150	0	-18	+6	-24	+15	-33	40
»	150	» 180	0	-25	+7	-32	—	—	45
»	180	» 250	0	-30	+8	-38	—	—	50
»	250	» 315	0	-35	+9	-44	—	—	60
»	315	» 400	0	-40	+10	-50	—	—	70
»	400	» 500	0	-45	+12	-57	—	—	80
»	500	» 630	0	-50	+14	-64	—	—	100
»	630	» 800	0	-75	+20	-95	—	—	120
»	800	» 1000	0	-100	+30	-130	—	—	140
»	1000	» 1250	0	-125	—	—	—	—	—
»	1250	» 1600	0	-160	—	—	—	—	—
»	1600	» 2000	0	-200	—	—	—	—	—

П р и м е ч а н и я:

* — только для подшипников серий диаметров 8, 9, 1, 2, 3 и 4, причем для
** — только для шариковых радиальных подшипников с защитными шайбами

ния; **** — только для подшипников серий диаметров 8, 9, 1, 7, 2, 3 и 4,
1. У роликовых подшипников класса точности 0 типа 102000 по ГОСТ
величину предельного верхнего отклонения.

2. Для замены шариковых и роликовых подшипников класса точности 0
машин при наличии монтажного износа отверстий корпусов (стаканов) допу
на наружный диаметр кольца смещено в плюсовую сторону на величину допу
вперед условного обозначения букву «Б».

3. Для наружных диаметров D подшипников класса точности 0 после
в данной таблице.

4. Средняя конусообразность наружной цилиндрической поверхности
на D_{cp} .

5. Предельные отклонения ширины колец соответствуют предельным

ТАБЛИЦА 1.22

стей наружных колец шариковых и роликовых радиальных и шариковых
ных подшипников

520—71)

Класс точности 6								
Предельные отклонения наружного диаметра в мкм								Радиальное биение дорожки качения R_a
$D_{ср}$		D^{****}				D^{**}		
верх- нее	ниж- нее	верх- нее	ниж- нее	верх- нее ***	ниж- нее ***	верх- нее	ниж- нее	
0	-7	+1	-8	+1	-8	—	—	8
0	-7	+1	-8	+2	-9	+3	-10	8
0	-8	+1	-9	+2	-10	+4	-12	9
0	-9	+2	-11	+3	-12	+6	-15	10
0	-11	+2	-13	+4	-15	+8	-19	13
0	-13	+2	-15	+5	-18	+10	-23	18
0	-15	+3	-18	+6	-21	+12	-27	20
0	-18	+3	-21	+7	-25	—	—	23
0	-20	+4	-24	+8	-28	—	—	25
0	-25	+4	-29	+9	-34	—	—	30
0	-28	+5	-33	+10	-38	—	—	35
0	-33	+5	-38	+12	-45	—	—	40
0	-38	+7	-45	+14	-52	—	—	50
0	-45	+10	-55	+17	-62	—	—	60
0	-60	+10	-70	+20	-80	—	—	75
—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—

серий диаметров 8, 9 — до $D \leq 22$ мм, 1 — до $D \leq 80$ мм и 2 — до $D \leq 315$ мм; и уплотнениями; *** — только для подшипников после естественного старения; причём для серий диаметров 8, 9 — до $D \leq 22$ мм, 1 — до $D \leq 95$ мм. 8328=57 допускается расширение поля допуска наружного диаметра D на

во время ремонта автомобилей, тракторов, сельскохозяйственных и других скается изготовление подшипников класса точности 0, у которых поле допуска среднего диаметра наружного кольца. Такие подшипники должны иметь

естественного старения действительны предельные отклонения, указанные шариковых и роликовых подшипников класса точности 6 не более 50% допуска отклонениям ширины внутренних колец того же класса точности.

Интервалы номинальных диаметров D в мм		Класс точности									
		Предельные отклонения наружного диаметра в мкм								Непостоянство шири- ны колец U_p	
		D_{cp}		D^*				D^{****}			
		верх- нее	ниж- нее	верх- нее	ниж- нее	верх- нее**	ниж- нее**	верх- нее	ниж- нее		
От	2,5 до 6	0	-5	0	-5	0	-5	-	-	5	
Св.	6 » 18	0	-5	0	-5	+1	-6	+2	-7	5	
»	18 » 30	0	-6	0	-6	+1	-7	+3	-9	5	
»	30 » 50	0	-7	0	-7	+1	-8	+4	-11	5	
»	50 » 80	0	-9	0	-9	+2	-11	+6	-15	6	
»	80 » 120	0	-10	0	-10	+3	-13	+8	-18	8	
»	120 » 150	0	-11	0	-11	+3	-14	+9	-20	8	
»	150 » 180	0	-13	0	-13	+4	-17	-	-	8	
»	180 » 250	0	-15	0	-15	+4	-19	-	-	10	
»	250 » 315	0	-18	0	-18	+5	-23	-	-	11	
»	315 » 400	0	-20	0	-20	+5	-25	-	-	13	
»	400 » 500	0	-23	0	-23	+7	-30	-	-	15	
»	500 » 630	0	-28	0	-28	+7	-35	-	-	18	
»	630 » 800	0	-35	0	-35	+7	-42	-	-	20	

Примечания:

* — только для подшипников серий диаметров 8, 9, 1, 7, 2, 3 и 4, причем радиальных и радиально-упорных подшипников; *** — только для подшипников подшипников с защитными шайбами и уплотнениями.

1. Непостоянство диаметра и средняя конусообразность наружной цилиндрической поверхности на D_{cp} .

2. Предельные отклонения ширины наружных колец соответствуют пре-

Интервалы номинальных диаметров D в мм		Класс					
		Предельные отклонения наружного диаметра в мкм					
		D_{cp}		D^*		D^{***}	
		верхнее	нижнее	верхнее	нижнее	верхнее	нижнее
От	2,5 до 6	0	-3	0	-3	0	-3
Св.	6 » 18	0	-3	0	-3	0	-4
»	18 » 30	0	-4	0	-4	+1	-5
»	30 » 50	0	-4	0	-4	+1	-5
»	50 » 80	0	-4	0	-4	+1	-6
»	80 » 120	0	-5	0	-5	+1	-7
»	120 » 150	0	-5	0	-5	+1	-7
»	150 » 180	0	-6,5	0	-6,5	+2	-9
»	180 » 250	0	-8	0	-8	+3	-11
»	250 » 315	0	-10	0	-10	+3	-13
»	315 » 400	0	-12	0	-12	+3	-15

Примечания:

* — только для подшипников серий диаметров 8, 9, 1, 2, 3, причем для радиальных и радиально-упорных подшипников; *** — только для подшипников с защитными шайбами и уплотнениями. См. примечания 1 и 2 на стр. 90.

Продолжение табл. 1. 22

5			Класс точности 4										
Биеение наружной цилиндрической поверхности относительно базового торца S_a Радиальное биеение дорожки качения R_a Осевое биеение дорожки качения A_a^{**}			Предельные отклонения наружного диаметра в мкм						Непостоянство ширины колец U_p Биеение наружной цилиндрической поверхности относительно базового торца S_a Радиальное биеение дорожки качения R_a Осевое биеение дорожки качения A_a^{**}				
			D_{cp}		D^*								
не более			верхнее	нижнее	верхнее	нижнее	верхнее***	нижнее***	в мкм, не более				
8	5	8	0	-4	0	-4	0	-4	2,5	5	4	3	5
8	5	8	0	-4	0	-4	0	+1	2,5	5	4	3	5
8	6	8	0	-5	0	-5	0	+1	2,5	5	4	4	5
8	7	8	0	-6	0	-6	0	+1	2,5	5	4	5	5
8	8	10	0	-7	0	-7	0	+2	3	5	4	5	5
9	10	11	0	-8	0	-8	0	+3	4	5	5	6	6
10	11	13	0	-9	0	-9	0	+3	5	5	5	7	7
10	13	14	0	-10	0	-10	0	+4	5	5	5	8	8
11	15	15	0	-11	0	-11	0	+4	7	7	10	10	10
13	18	18	0	-13	0	-13	0	+5	7	8	11	10	10
13	20	20	0	-15	0	-15	0	+5	8	10	13	13	13
15	23	23	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
18	25	25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20	30	30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

для серий диаметров 8 и 9 — до $D \leq 22$ мм; ** — только для шариковых ников после естественного старения; *** — только для шариковых радиально-цилиндрической поверхности шариковых и роликовых подшипников не более

дельным отклонениям ширины внутренних колец того же класса точности.

точности 2

Непостоянство ширины колец U_p	Биеение наружной цилиндрической поверхности относительно базового торца S_a	Радиальное биеение дорожки качения R_a	Осевое биеение дорожки качения A_a^{**}
в мкм, не более,			
1,5	2	2	2,5
1,5	2	2	2,5
2	2	2,5	2,5
2	2	2,5	2,5
2	2	4	4
2,5	2,5	5	5
2,5	2,5	5	5
2,5	2,5	5	5
4	4	6,5	6,5
5	6	8	8
6	7	10	10

серий диаметров 8 и 9 — до $D \leq 22$ мм; ** — только для шариковых радиально-после естественного старения.

Предельные отклонения размеров, формы и расположения поверх
(по ГОСТ

Интервалы номинальных диаметров d в мм	Предельные отклонения в мкм									
	диаметра цилиндрического отверстия									
	d_{cp}						d^*			
	Классы									
	0		6; 5		4		0		6; 5	
	верхнее	нижнее	верхнее	нижнее	верхнее	нижнее	верхнее	нижнее	верхнее	нижнее
От 10 до 18	0	-8	0	-7	0	-5	+3	-11	+1	-8
Св. 18 » 30	0	-10	0	-8	0	-6	+3	-13	+1	-9
» 30 » 50	0	-12	0	-10	0	-8	+3	-15	+1	-11
» 50 » 80	0	-15	0	-12	0	-9	+4	-19	+2	-14
» 80 » 120	0	-20	0	-15	0	-10	+5	-25	+3	-18
» 120 » 180	0	-25	0	-18	0	-13	+6	-31	+3	-21
» 180 » 250	0	-30	0	-22	0	-15	+8	-38	+4	-26
» 250 » 315	0	-35	0	-25	—	—	+9	-44	+5	-30
» 315 » 400	0	-40	0	-30	—	—	+10	-50	+5	-35

П р и м е ч а н и я:

* — только для подшипников класса точности 0 серий диаметров 1, для подшипников класса точности 6 серий диаметров 1, 2 и 3, причем для серий диаметров 1, 2 и 3.

1. Средняя конусообразность отверстий роликовых подшипников классов
2. Для замены роликовых подшипников класса точности 0 во время при наличии износа шеек валов допускается изготовление подшипников класса d смещено в минусовую сторону на величину допуска на средний диаметр.

отмечается знаком V. В случае отсутствия маркировки, а также у колец радиальных и радиально-упорных подшипников классов точности 0 и 6, имеющих торцы равной ширины, базовым торцом считаются оба торца кольца.

Определения осей, плоскостей, поверхностей, отклонений формы и расположения поверхностей подшипников приведены в ГОСТ 520—71.

Посадки подшипников качения (по ГОСТ 3325—55)

Для соединения подшипников качения с валами (осями) и корпусами стандартом предусмотрены следующие посадки:

ТАБЛИЦА 1.23

ностей внутренних колец роликовых конических подшипников
520—71)

		ширины колец B		Радиальное биение дорожки качения R_t				Биение базового торца относи- тельно отвер- стия S_t				Осевое биение дорожки качения относительно широкого торца A_{kl}			
точности															
4		0; 6; 5; 4		0	6	5	4	0	6	5	4	4			
верхнее	нижнее	верхнее	нижнее	в мкм, не более											
0	—5	0	—200	15	7	3,5	2,5	20	10	7	3	3			
0	—6	0	—200	18	8	4	3	20	10	8	4	4			
0	—8	0	—240	20	10	5	4	20	10	8	4	4			
0	—9	0	—300	25	10	5	4	25	12	8	5	4			
0	—10	0	—400	30	13	6	5	25	12	9	5	5			
0	—13	0	—500	35	18	8	6	30	15	10	6	7			
0	—15	0	—600	50	20	10	8	30	15	11	7	8			
—	—	0	—700	60	25	13	—	35	17	13	—	—			
—	—	0	—800	70	30	15	—	40	20	15	—	—			

2 и 3, причем для серий диаметров 1 — до $d \leq 40$ мм, 2 — до $d \leq 180$ мм; серий диаметров 1 — до $d \leq 60$ мм; для подшипников классов точности 5 и 4

точности 6, 5 и 4 не более 50% допуска на $d_{ср}$.

ремонта автомобилей, тракторов, сельскохозяйственных и других машин точности 0, у которых поле допуска диаметра отверстия внутреннего кольца. Такие подшипники должны иметь впереди условного обозначения букву «М».

Наименования посадок

Обозначения
посадок

Для тонкостенных корпусов
Глухая подшипниковая
Тугая подшипниковая
Напряженная подшипниковая
Плотная подшипниковая
Скользкая подшипниковая
Движения подшипниковая
Ходовая подшипниковая

P_i
 $\Gamma_{п}, \Gamma_{1п}$
 $T_{п}, T_{1п}$
 $H_{п}, H_{1п}$
 $P_{п}, P_{1п}$
 $C_{п}, C_{1п}, C_{3п}$
 $D_{п}, D_{1п}$
 $X_{п}$

ТАБЛИЦА 1.24

Предельные отклонения размеров, формы и расположения поверхностей наружных колес
роликовых конических подшипников (по ГОСТ 520—71)

Интервалы номинальных диаметров D в мм	Предельные отклонения наружного диаметра в мкм		D_{cp}		D^*		Классы точности																в мкм, не более	Бинное наруж- ной цилиндри- ческой поверх- ности относи- тельно базового торца S_a Свое бинение дорожки качения A_{ka} относительно широкого торца
0		6; 5		4		0		6; 5		4		0		6		5		4		5		4		
верхнее	нижнее	верхнее	нижнее	верхнее	нижнее	верхнее	нижнее	верхнее	нижнее	верхнее	нижнее	верхнее	нижнее	верхнее	нижнее	верхнее	нижнее	верхнее	нижнее	верхнее	нижнее	верхнее	нижнее	
От 18 до 30	0	-9	0	-8	0	-6	+2	-11	+1	-9	0	-6	18	9	6	4	8	4	5					
Св. 30 до 50	0	-11	0	-9	0	-7	+3	-14	+2	-11	0	-7	20	10	7	5	8	4	5					
» 50 » 80	0	-13	0	-11	0	-9	+4	-17	+2	-13	0	-9	25	13	8	5	8	4	5					
» 80 » 120	0	-15	0	-13	0	-10	+5	-20	+2	-15	0	-10	35	18	10	6	9	5	6					
» 120 » 150	0	-18	0	-15	0	-11	+6	-24	+3	-18	0	-11	40	20	11	7	10	5	7					
» 150 » 180	0	-25	0	-18	0	-13	+7	-32	+3	-21	0	-13	45	23	13	8	10	5	8					
» 180 » 250	0	-30	0	-20	0	-15	+8	-38	+4	-24	0	-15	50	25	15	10	11	7	10					
» 250 » 315	0	-35	0	-25	0	-18	+9	-44	+4	-29	0	-18	60	30	18	11	13	8	10					

Продолжение табл. 1 24

Интервалы номинальных диаметров D в мм	Предельные отклонения наружного диаметра в мкм												Радиальное биение дорожки качения R_a	Биение наруж- ной цилиндри- ческой поверх- ности относи- тельно базового торца S_a	Осевое биение дорожки качения относительно широкого торца A_{ka}			
	D_{cp}						D^*											
	Классы точности						Классы точности											
	0		6; 5		4		0		6; 5		4					0		6; 5
	верхнее	нижнее	верхнее	нижнее	верхнее	нижнее	верхнее	нижнее	верхнее	нижнее	верхнее	нижнее	верхнее	нижнее	верхнее	нижнее	верхнее	нижнее
Св. 315 до 400	0	-40	0	-28	0	-20	+10	-50	+5	-33	0	-20	70	35	20	13	10	13
» 400 » 500	0	-45	0	-33	-	-	+12	-57	+5	-38	-	-	80	40	23	15	-	-
» 500 » 630	0	-50	-	-	-	-	+14	-64	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-

Примечания:

1. — только для подшипников класса точности 0 серий диаметров 1, 2 и 3, причем для серии диаметров 1 — до $D \leq 80$ мм, 2 — до $D \leq 315$ мм; для подшипников класса точности 6 серий диаметров 1, 2 и 3, причем для серии диаметров 1 — до $D \leq 95$ мм; для подшипников классов точности 5 и 4 серий диаметров 1, 2 и 3.

2. Средняя конусообразность наружной цилиндрической поверхности роликовых подшипников классов точности 6, 5 и 4 не более 50% допуска на D_{cp} .

3. Предельные отклонения ширины наружных колец не нормированы. Однако верхним пределом для ширины колец должен быть номинал.

4. Для замены роликовых подшипников класса точности 0 во время ремонта автомобилей, тракторов, сельскохозяйственных и других машин при наличии монтажного износа отверстий корпусов (станков) допускается изготовление подшипников класса точности 0, у которых поле допуска наружного диаметра кольца смещено в плюсовую сторону на величину допуска на средний диаметр наружного кольца. Такие подшипники должны иметь впереди условного обозначения букву «Б».

Примечания:

только для подшипников класса точности 0 серий диаметров 1, 2 и 3, причем для $D \leq 80$ мм, 2 — до $D \leq 315$ мм; для подшипников классов точности 1, 2 и 3, причем для серий диаметров 1 — до $D \leq 95$ мм; для подшипников классов точности 5 и 4 серий диаметров 1, 2 и 3.

1. Средняя конусообразность наружной цилиндрической поверхности роликовых подшипников классов точности 6, 5 и 4 не более 50% допуска на $D_{\text{ср}}$.

2. Предельные отклонения ширины наружных колец не нормированы. Однако верхним пределом для ширины колец должен быть номинал.

3. Для замены роликовых подшипников класса точности 0 во время ремонта автомобилей, тракторов, сельскохозяйственных и других машин при наличии монтажного износа открытых корпусов (станков) допускается изготовление подшипников класса точности 0, у которых поле допуска наружного диаметра кольца в плюсовую сторону на величину допуска на средний диаметр наружного кольца. Такие подшипники должны иметь впереди условного обозначения букву «Б».

ТАБЛИЦА 1.25

Предельные отклонения монтажной высоты
для конических роликовых подшипников
(по ГОСТ 520—71)

Интервалы номинальных диаметров d в мм	Предельные отклонения монтажной высоты нормаль- ной точности T в мкм		Предельные отклонения монтажной высоты повышения точности T в мкм			
	верхнее	нижнее	Классы точности			
			0; 6; 5		4	
			верхнее	нижнее	верхнее	нижнее
От 10 до 18	+250	-250	+200	0	+200	-200
Св. 18 » 30	+250	-250	+200	0	+200	-200
» 30 » 50	+250	-250	+200	0	+200	-200
» 50 » 80	+250	-250	+200	0	+200	-200
» 80 » 120	+500	-500	+200	-200	+200	-200
» 120 » 180	+750	-750	+350	-250	+350	-250
» 180 » 250	+750	-750	+350	-250	+350	-250
» 250 » 315	+750	-750	+350	-250	—	—
» 315 » 400	+1000	-1000	+400	-400	—	—

Примечание. Для подшипников с предельными отклонениями монтажной высоты T повышенной точности установлен дополнительный индекс Y , который указывается после класса точности.

В обозначениях посадок (указываются только в сборочных чертежах) индекс n означает, что посадки относятся к подшипникам качения.

В зависимости от требуемого характера соединения применяются следующие поля допусков: для валов (в системе отверстия): $G_1, T_1, H_1, P_1, C_1, D_1$ (под подшипники классов точности 5 и 4), G, T, H, P, C, D, X (под подшипники классов точности 0 и 6); для отверстий корпусов (в системе вала): G_1, T_1, H_1, P_1, C_1 (под подшипники классов точности 5 и 4), $G, T, H, P, C, D, C_3, P_7$ (под подшипники классов точности 0 и 6). Поле допуска отверстия P_7 — по ИСО.

Отклонения формы (овальность, конусообразность) посадочных поверхностей валов и отверстий корпусов под подшипники качения классов точности 0 и 6 не должны превышать 50% допуска на диаметр и под подшипники классов точности 5 и 4—25% допуска на диаметр посадочной поверхности.

Отклонения формы (овальность, конусообразность) посадочных поверхностей валов под подшипники качения на закрепительных или закрепительно-стяжных (буксовых) втулках не должны превышать 25% допуска на диаметр посадочной поверхности (классы точности валов B_3, B_{3a}, B_4).

ТАБЛИЦА 1.26

Предельные отклонения размеров, формы и расположения
поверхностей тугих и свободных колец шариковых упорных
подшипников
(по ГОСТ 520—71)

Интервалы номинальных диаметров d , d_2 , D в мм	Предельные отклонения в мкм						Осевое биение дорожки качения A_s			
	внутреннего диа- метра тугого кольца d , d_2				наружного диаметра свободного кольца D					
	Классы точности									
	0; 6; 5		4		0; 6; 5; 4		0	6	5	4
	верхнее	нижнее	верхнее *	нижнее *	верхнее	нижнее	в мкм, не более			
До 18	0	-8	0	-7	0	-30	10	5	3	2
Св. 18 до 30	0	-10	0	-8	0	-30	10	5	3	2
» 30 » 50	0	-12	0	-10	0	-36	10	6	3	2
» 50 » 80	0	-15	0	-12	0	-45	10	7	4	3
» 80 » 120	0	-20	0	-15	0	-60	15	8	4	3
» 120 » 180	0	-25	0	-18	0	-75	15	9	5	4
» 180 » 250	0	-30	0	-22	0	-90	20	10	5	4
» 250 » 315	0	-35	0	-25	0	-105	25	13	7	5
» 315 » 400	0	-40	0	-30	0	-120	30	15	7	5
» 400 » 500	0	-45	0	-35	0	-135	30	18	9	6
» 500 » 630	0	-50	0	-40	0	-150	35	21	11	7
» 630 » 800	0	-75	0	-50	0	-225	40	25	13	8
» 800 » 1000	0	-100	—	—	0 **	-300 **	45	30	15	—
» 1000 » 1250	0	-125	—	—	0 **	-375 **	50	35	18	—

Примечание. * — только для внутреннего диаметра d тугого кольца одинарного упорного подшипника; ** — только для подшипников классов точности 0; 6 и 5.

Значения A_s для свободного кольца принимаются в зависимости от внутреннего диаметра тугого кольца.

ТАБЛИЦА 1.28

Шероховатость посадочных и торцовых поверхностей колец подшипников
(по ГОСТ 520—71)

Наименования поверхностей	Классы точности подшипников	Номинальные диаметры посадочных поверхностей колец подшипников в мм			
		до 80	св. 80 до 250	св. 250 до 500	св. 500 до 1600
		Классы шероховатости по ГОСТ 2789—73			
Посадочная поверхность внутреннего кольца подшипника	0 6 и 5 4 и 2	7 8 9	7 7 8	6 7 8	6 6 —
Посадочная поверхность наружного кольца подшипника	0 6 и 5 4 и 2	8 9 9	7 8 8	7 8 8	6 7 —
Поверхность торцов колец подшипников	0 6 и 5 4 и 2	6 7 8	6 7 8	6 6 7	6 6 —
<p>Примечания</p> <p>1. За номинальные диаметры подшипника принимаются диаметры посадочных поверхностей соответственно наружной или внутренней.</p> <p>2. За номинальный диаметр упорных подшипников принимается внутренний диаметр свободного кольца, выраженный в целых миллиметрах.</p>					

Шероховатость посадочных поверхностей валов и отверстий корпусов под подшипники качения должна соответствовать 9—6-му классам шероховатости по ГОСТ 2789—73 в зависимости от класса точности и диаметра подшипника.

Выбор той или иной посадки производится с учетом условий работы подшипникового узла, из которых основное значение имеют следующие:

- а) вращается ли вал с внутренним кольцом или корпус с наружным кольцом подшипника;
- б) вид нагружения подшипника;
- в) режим работы подшипника;
- г) тип и размеры подшипника, скорость вращения, условия монтажа и эксплуатации и др.

По условию (а) следует обеспечивать неподвижное соединение того кольца подшипника, которое сопрягается с вращающейся частью машины, а кольцо, сопрягающееся с невращающейся ее частью, надлежит устанавливать по посадкам, дающим меньшую плотность соединения и даже допускающим небольшие смещения.

Практически чаще всего подшипниковые узлы работают по схеме «вращается вал — неподвижен корпус», вследствие чего в них чаще приходится неподвижно устанавливать внутреннее кольцо на вал и относительно свободно — наружное кольцо в корпус.

Применять в этих случаях валы посадок с натягом недопустимо, так как получаемые при них натяги сильно осложняют условия монтажа и демонтажа подшипников узлов, а в процессе их эксплуатации могут быть поломки подшипников в связи со значительными внутренними напряжениями в кольцах и шариках. Для получения умеренных, но гарантированных натягов в соединениях внутренних колец с валами переходных посадок стандартом на подшипники предусмотрено расположение поля допуска кольца не в плюс, а в минус от нулевой линии, как показано на рис. 1.6. Поэтому валы посадок $G_{1п}$, $T_{1п}$, $H_{1п}$, $G_{п}$, $T_{п}$, $H_{п}$ дают только гарантированные натяги, а валы всех других посадок будут давать более плотные соединения по сравнению с аналогичными посадками системы отверстия, в которой поле допуска основного отверстия расположено в плюс от нулевой линии.

По условию (б) необходимо учитывать, что существуют следующие виды нагружения подшипниковых колец.

1. Местное нагружение. Кольцо подшипника воспринимает радиальную нагрузку P_n , постоянную по направлению, лишь ограниченным участком дорожки качения и передает ее ограниченному же участку посадочной поверхности вала или корпуса (рис. 1.7, а).

2. Циркуляционное нагружение. Кольцо подшипника воспринимает радиальную нагрузку P_n последовательно всей окружностью дорожки качения и передает ее всей посадочной поверхности вала или корпуса (рис. 1.7, б).

3. Колебательное нагружение. Постоянная по направлению радиальная нагрузка P_n сочетается с меньшей по величине вращающейся радиальной нагрузкой P_v , вследствие чего равнодействующая этих сил P_r не совершает полного оборота, а колеблется между точками А и В (рис. 1.7, в). В тех случаях, когда $P_n < P_v$, кольца становятся местно или циркуляционно нагруженными в зависимости от схемы приложения этих сил.

В табл. 1.29 указаны виды нагружения колец подшипников в зависимости от условий их работы, а в табл. 1.30 и 1.31 приведены рекомендуемые стандартом посадки для радиальных и радиально-упорных подшипников в зависимости от видов их нагружения. Для соединения всех типов упорных шарико- и роликоподшипников с валами и корпусами должна применяться посадка $P_{п}$.

По условию (в) необходимо учитывать, что подшипники работают при различных режимах. В зависимости от расчетной долговечности их работы стандартом регламентированы следующие режимы:

Режимы работы	Легкий	Нормальный	Тяжелый	Особые условия
Расчетная долговечность работы подшипника в ч	Св. 10 000	Св. 5 000 до 10 000	Св. 2 500 до 5 000	Выбор посадки по согласованию с изготовителем

П р и м е ч а н и е. При ударных и вибрационных нагрузках (например, в железнодорожных и трамвайных буксах, на коленчатых валах двигателей, в дробильных машинах и т. п.) посадки должны выбираться как для тяжелого режима работы независимо от расчетной долговечности.

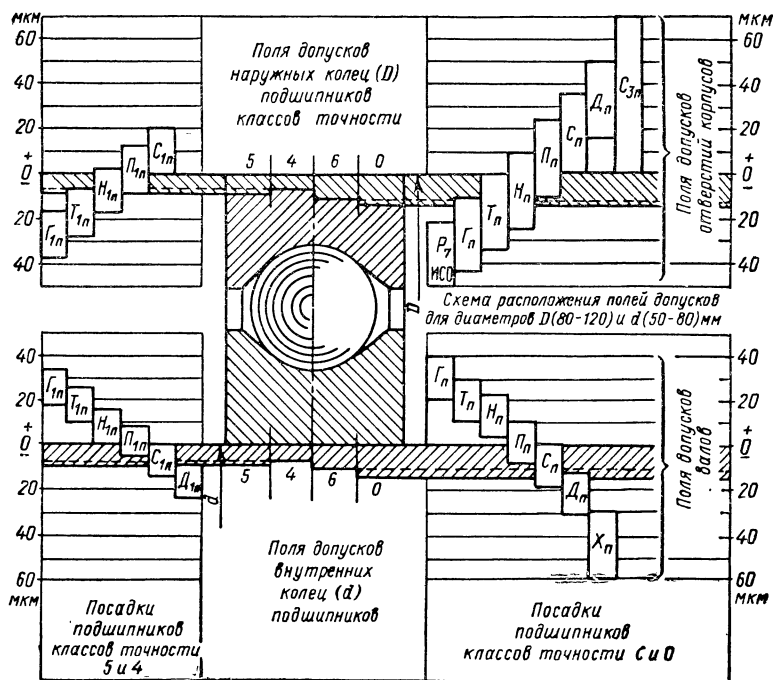


Рис. 1.6

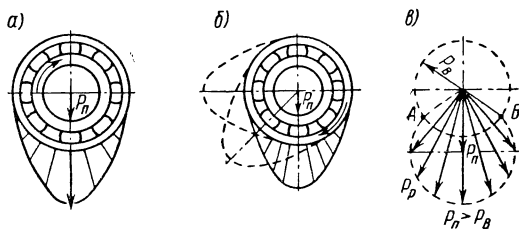


Рис. 1.7

ТАБЛИЦА 1.29

Виды нагружения колец подшипников качения
(по ГОСТ 3325—55)

Разновидности радиальных нагрузок, воспринимаемых кольцами подшипников	Наименование вращающегося кольца	Виды нагружения колец	
		внутреннего	наружного
Постоянная по направлению	Внутреннее Наружное	Ц (а) М (б)	М (а) Ц (б)
Постоянная по направлению и вращающаяся, меньшая по величине	Внутреннее Наружное	Ц (а) К (е)	К (е) Ц (е)
Постоянная по направлению и вращающаяся, большая по величине	Внутреннее Наружное	М (д) Ц (е)	Ц (д) М (е)
Постоянная по направлению	Внутреннее или наружное кольцо в одном или противоположном направлении	Ц	Ц
Вращающаяся с внутренним кольцом		М	Ц
Вращающаяся с наружным кольцом		Ц	М

Примечание. М — местное; Ц — циркуляционное; К — колебательное.

Посадки радиальных подшипников
(по ГОСТ 3325—55)

ТАБЛИЦА 1.30

Виды нагружения колец	Посадки внутреннего кольца на вал	Посадки наружного кольца в корпус
Местное	$P_{1п}^*, C_{1п}^*, P_{п}^*, C_{п}^*, D_{п}^*, X_{п}^*$	$P_{1п}^*, C_{1п}^*, P_{п}^*, C_{п}^*, D_{п}^*, C_{3п}$
Циркуляционное	$\Gamma_{1п}^*, T_{1п}^*, H_{1п}^*, P_{1п}^*, \Gamma_{п}^*, T_{п}^*, H_{п}^*, P_{п}^*$	$\Gamma_{1п}^*, T_{1п}^*, H_{1п}^*, P_{п}^*, \Gamma_{п}^*, T_{п}^*, H_{п}^*$
Колебательное	$P_{1п}^*, P_{п}^*$	$P_{1п}^*, P_{п}^*$
<p>Примечание. * — поля допусков валов и отверстий относятся к полям предпочтительного применения по ГОСТ 7713—62.</p> <p>При числах оборотов, превышающих определенное число (см. типоразмерные стандарты, для местно нагруженных колец, следует применять посадку $P_{п}$.</p>		

Посадки радиально-упорных подшипников
(по ГОСТ 3325—55)

ТАБЛИЦА 1.31

Условия монтажа и вид нагружения колец	Посадки внутреннего кольца на вал	Посадки наружного кольца в корпус
Нерегулируемые циркуляционно нагруженные кольца	$\Gamma_{п}^*, T_{п}^*, H_{п}^*, P_{п}^*$	$\Gamma_{п}^*, T_{п}^*, H_{п}^*, P_{п}^*, P_{7}^{***}$
Регулируемые циркуляционно нагруженные кольца **	$P_{п}^*$	$P_{п}^*$
Регулируемые местнонагруженные кольца	$D_{п}^*, X_{п}^*, C_{п}^*$	$C_{п}^*$
Нерегулируемые и регулируемые местнонагруженные кольца, не перемещающиеся по посадочной поверхности	$P_{п}^*, C_{п}^*$	$T_{п}^*, H_{п}^*, C_{п}^*$
<p>Примечание: * — поля допусков валов и отверстий относятся к полям предпочтительного применения по ГОСТ 7713—62;</p> <p>** — нерекомендуемая конструкция подшипникового узла; если применение ее неизбежно, то материал сопрягаемых с подшипником деталей должен быть повышенной прочности; *** — для посадки в тонкостенные корпуса.</p>		

ТАБЛИЦА 1.32

Посадки шарико- и роликоподшипников на валы

Общая характеристика условий, определяющих выбор посадки			Диаметры подшипников в мм				Примеры выбора посадок подшипников машин и узлов	
Вращается или не вращается вал	Вид нагружения внутреннего кольца	Режим работы	радиальных		радиально-упорных			
			шариковых	роликовых	шариковых	роликовых		
Не вращается	Местное	Легкий или нормальный	Подшипники всех диаметров				$D_{\text{п}}^*$	Ролики ленточных транспортеров, конвейеров и подвесных дорог для небольших грузов
							$D_{\text{п}}^*, X_{\text{п}}^*$	Передние и задние колеса автомобилей и тракторов, колеса вагонов, самолетов и т. п.
			Нормальный или тяжелый		$C_{\text{п}}^*$	Натяжные ролики (ленкисы), блоки, ролики рольгангов, ролики механизмов управления самолетами		

 $D_{\text{П}}^*$ $D_{\text{П}}^* X_{\text{П}}^*$ $S_{\text{П}}^*$

Продолжение табл. 1.32

Общая характеристика условий, определяющих выбор посадки			Диаметры подшипников в мм				Примеры выбора посадок подшипников машин и узлов
Вращается или не вращается вал	Вид нагружения внутреннего кольца	Режим работы	радиальных		радиально-упорных		
			шариковых	роликовых	шариковых	роликовых	
Вращается	Циркулярное	Легкий или нормальный	До 40	До 40	До 100	До 40	$\frac{{}^* H_{1п}}{P_{п}}$
			До 100	До 100	Св. 100	До 100	$\frac{{}^* H_{1п}}{P_{п}}$
			До 250	До 250	До 250	До 250	$T_{п}$
		Нормальный или тяжелый	До 100	До 40	До 100	До 100	$\frac{{}^* H_{1п}}{P_{п}}$
			Св. 100	До 100	Св. 100	До 180	$T_{1п}$
Вращается				До 250		До 250	$\frac{{}^* F_{1п}}{F_{п}}$

Продолжение табл. 1.32

Общая характеристика условий, определяющих выбор посадки			Диаметры подшипников в мм				Примеры выбора посадок подшипников машин и узлов
Вращается или не вращается вал	Вид нагружения внутреннего кольца	Режим работы	радиальных		радиально-упорных		
			шариковых	роликовых	шариковых	роликовых	
Вращается	Циркуляционное	Тяжелая и ударная нагрузки	Подшипники всех диаметров				$\Gamma^* \Gamma_n$
			Подшипники на закрепительных втулках				
		Нормальный	Подшипники на конических закрепительных втулках всех диаметров				B_3^*, B_4^*, B_4

Примечание. * — поля допусков валов относятся к полям предпочтительного применения по ГОСТ 7713-62.

Примечание. * — поля допусков валов относятся к полям предпочтительного применения по ГОСТ 7713-62.

ТАБЛИЦА 1.33
Посадки шарико- и роликоподшипников в корпус

Общая характеристика условий, определяющих выбор посадки			Примеры выбора посадок подшипников машин и узлов	
Вращается вал или корпус	Вид нагружения наружного кольца	Режим работы		
Вращается корпус	Циркуляционное	Тяжелый (при тонкостенных корпусах)	P_1	Колеса самолетов, передние и задние колеса автомобилей и тракторов
		Нормальный	$T_{п}^*$ $H_{п}$	Ролики ленточных транспортеров, натяжные ролики (лениксы), сельскохозяйственные машины
		Нормальный или тяжелый	$G_{п}^*$	Ролики рольгангов, подшипники коленчатых валов компрессоров, ходовые колеса мостовых кранов
		Нормальный или тяжелый (для точных узлов)	$T_{1п}^*$ $H_{1п}$	Подшипники шпинделей тяжелых станков (расточных и фрезерных)
Вращается вал	Местное	Нормальный	$P_{1п}^*$ $P_{п}$	Центробежные насосы, вентиляторы, центрифуги, подшипники шпинделей станков (металлорежущих)
		Нормальный или тяжелый (перемещение вдоль оси невозможно)	$T_{п}^*$ $H_{п}^*$ $P_{п}^*$	Конические роликоподшипники коробок передач, задних мостов автомобилей и тракторов
		Нормальный или тяжелый	$C_{п}^*$	Большинство подшипников общего машиностроения, редукторы, железнодорожные и трамвайные буксы
	Местное или колебательное	Нормальный или тяжелый	$H_{1п}^*$ $P_{1п}^*$	Подшипники шпинделей шлифовальных станков, коренные подшипники коленчатых валов двигателей
		Легкий или нормальный (разъемные корпуса)	$H_{п}^*$ $P_{п}^*$	Трансмиссионные валы и узлы, не требующие точного вращения, сельскохозяйственные машины

Примечание. * — поля допусков отверстий относятся к полям предпочтительного применения по ГОСТ 7713—62.

В процессе эксплуатации подшипники не должны нагреваться до температуры, превышающей 100° С.

Рекомендации ГОСТ 3325—55 по практическому выбору посадок под внутренние и наружные кольца шарико- и роликоподшипников в зависимости от условий их работы и габаритных размеров приведены в табл. 1.32 и 1.33.

6. ШЛИЦЕВЫЕ И ШПОНОЧНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Соединения с прямобочным профилем шлицев (по ГОСТ 1139—58)

Основные размеры деталей этих соединений d , D , b и числа зубьев z приведены в табл. 1.34.

При соединении шлицевых деталей данного профиля применяются три способа центрирования по размерам d , D или b , выбор которых зависит от условий их эксплуатации и изготовления.

Предельные отклонения размеров d и b отверстий и валов, а также рекомендуемые стандартом посадки при центрировании по d устанавливаются по табл. 1.35; для размеров D и b при центрировании по D — по табл. 1.36; для размера b при центрировании по этому размеру — по табл. 1.37. Отклонения по нецентрирующим диаметрам в зависимости от способа центрирования устанавливаются по табл. 1.38.

Отклонения всех размеров профиля отверстий и валов отсчитываются от размеров d , D и b , приведенных в табл. 1.34.

Для каждого из этих размеров стандартом установлены (см. табл. 1.35—1.38) три предельных отклонения:

а) предельное суммарное отклонение (наини́зшее для размеров отверстия и наивы́сшее для размеров вала), по которому определяются номинальные размеры комплексных калибров-пробок и колец;

б) два предельных отклонения (верхнее и нижнее), используемые при расчете размеров гладких калибров-пробок и скоб, применяемых при дифференцированном контроле размеров шлицевых деталей или при измерении этих деталей универсальными средствами.

Разности между нижними и суммарными отклонениями размеров отверстия и разности между суммарными и верхними отклонениями размеров вала предназначены для компенсации погрешностей формы и взаимного расположения элементов их шлицевого профиля, а также эксцентриситета поверхностей центрирования относительно зубьев и впадин. Указанные в таблицах верхние предельные отклонения толщины зубьев вала и нижние предельные отклонения ширины впадин отверстия не являются обязательными и при простановке на чертежах могут корректироваться по опытным данным завода-изготовителя.

По поверхности центрирования d или D устанавливаются посадки из системы отверстия по стандартам для гладких цилиндрических поверхностей, так же как и посадки по боковым сторонам зубьев и впадин, с той разницей, что в этом случае с нулевой линией совмещается суммарное отклонение ширины впадин отверстия.

Взаимное расположение контуров соединяемых шлицевых деталей и полей их допусков с условными обозначениями отклонений для

ТАБЛИЦА 1.34

Основные размеры в мм прямоугольных шлицевых соединений различных серий
(по ГОСТ 1139—58)

<div> <div>Форма сечения вала</div> <div>Исполнение А</div> <div>Исполнение В</div> <div>Форма сечения втулки</div> </div>								
Соединение легкой серии			Соединение средней серии			Соединение тяжелой серии		
номинальный размер $z \times d \times D$	b	d_1 не менее	номинальный размер $z \times d \times D$	b	d_1 не менее	номинальный размер $z \times d \times D$	b	d_1 не менее
$6 \times 23 \times 26$	6	22,1	$6 \times 11 \times 14$	3	9,9	$10 \times 16 \times 20$	2,5	14,1
$6 \times 26 \times 30$	6	24,6	$6 \times 13 \times 16$	3,5	12,0	$10 \times 18 \times 23$	3	15,6
$6 \times 28 \times 32$	7	26,7	$6 \times 16 \times 20$	4	14,54	$10 \times 21 \times 26$	3	18,5
$8 \times 32 \times 36$	6	30,4	$6 \times 18 \times 22$	5	16,7	$10 \times 23 \times 29$	4	20,3
$8 \times 36 \times 40$	7	34,5	$6 \times 21 \times 25$	5	19,5	$10 \times 26 \times 32$	4	23,0
$8 \times 42 \times 46$	8	40,4	$6 \times 23 \times 28$	6	21,3	$10 \times 28 \times 35$	4	24,4
$8 \times 46 \times 50$	9	44,6	$6 \times 26 \times 32$	6	23,4	$10 \times 32 \times 40$	5	28,0
$8 \times 52 \times 58$	10	49,7	$6 \times 28 \times 34$	7	25,9	$10 \times 36 \times 45$	5	31,3
$8 \times 56 \times 62$	10	53,6	$8 \times 32 \times 38$	6	29,4	$10 \times 42 \times 52$	6	36,9
$8 \times 62 \times 68$	12	59,8	$8 \times 36 \times 42$	7	33,5	$10 \times 46 \times 56$	7	40,9
$10 \times 72 \times 78$	12	69,6	$8 \times 42 \times 48$	8	39,5	$16 \times 52 \times 60$	5	47,0
$10 \times 82 \times 88$	12	79,3	$8 \times 46 \times 54$	9	42,7	$16 \times 56 \times 65$	5	50,6
$10 \times 92 \times 98$	14	89,4	$8 \times 52 \times 60$	10	48,7	$16 \times 62 \times 72$	6	56,1
$10 \times 102 \times 108$	16	99,9	$8 \times 56 \times 65$	10	52,2	$16 \times 72 \times 82$	7	65,9
$10 \times 112 \times 120$	18	108,8	$8 \times 62 \times 72$	12	57,8	$20 \times 82 \times 92$	6	75,6
			$10 \times 72 \times 82$	12	67,4	$20 \times 92 \times 102$	7	85,5
			$10 \times 82 \times 92$	12	77,1	$20 \times 102 \times 115$	8	98,7
			$10 \times 92 \times 102$	14	87,3	$20 \times 112 \times 125$	9	104,0
			$10 \times 102 \times 112$	16	97,7			
			$10 \times 112 \times 125$	18	106,3			

Допуски и посадки прямобоочных шлицевых соединений
(по ГОСТ

Предельные отклонения диаметра центрирования d в мкм

Условные обозначения полей допусков		Наименование предельных отклонений		Интервалы внутренних диаметров d в мм				
				св. 10 до 18	св. 18 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120
Отверстий	A	Верхнее	+	19	23	27	30	35
		Нижнее	-	0	0	0	0	0
		Суммарное	-	9	10	12	14	16
	A _{2a}	Верхнее	+	27	33	39	46	54
		Нижнее	-	0	0	0	0	0
		Суммарное	-	9	10	12	14	16
Валов	B	Суммарное	+	33	40	47	54	60
		Верхнее	+	24	30	35	40	45
		Нижнее	+	12	15	18	20	23
	H	Суммарное	+	15	17	20	24	28
		Верхнее	+	6	7	8	10	12
		Нижнее	-	6	7	8	10	12
	C	Суммарное	+	9	10	12	14	16
		Верхнее	-	0	0	0	0	0
		Нижнее	-	12	14	17	20	23
	D	Суммарное	+	3	2	2	2	2
		Верхнее	-	6	8	10	12	15
		Нижнее	-	18	22	27	32	38
	H	Суммарное	-	8	10	13	16	24
		Верхнее	-	16	20	25	30	40
		Нижнее	-	33	40	50	60	75
	L	Суммарное	-	21	30	38	50	65
		Верхнее	-	30	40	50	65	80
		Нижнее	-	55	70	85	105	125
	C _{2a}	Суммарное	+	9	10	12	14	16
		Верхнее	-	0	0	0	0	0
		Нижнее	-	18	21	25	30	35
	L _{2a}	Суммарное	-	8	10	13	16	24
		Верхнее	-	32	40	50	60	72
		Нижнее	-	75	92	112	134	159

ТАБЛИЦА 1.35

при центрировании по внутреннему диаметру d
(139—58)

Предельные отклонения размера b при центрировании по внутреннему диаметру d в мкм											
Условные обозначения полей допусков		Наименование предельных отклонений	Интервалы внутренних диаметров d в мм								
			св. 10 до 18	св. 18 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120				
Ширина впадин отверстий	U_1	Верхнее Нижнее Суммарное	$+$ $+$ $+$	50 30 0	60 35 0	70 40 0	90 55 0	110 70 0			
	U_2	Верхнее Нижнее Суммарное	$+$ $+$ $+$	75 40 0	95 50 0	115 65 0	140 80 0	170 100 0			
Толщина зубьев вала	$S_1 P$	Суммарное	$+$	20	25	30	40	50			
		Верхнее	$+$	7	8	8	10	10			
		Нижнее	$-$	11	14	18	20	25			
	$S_1 C$	Суммарное	$+$	14	17	22	30	40			
		Верхнее	$+$	0	0	0	0	0			
		Нижнее	$-$	18	21	25	30	35			
	$S_1 X$	Суммарное	$-$	0	0	0	0	0			
		Верхнее	$-$	14	17	22	30	40			
		Нижнее	$-$	32	40	50	60	75			
	$S_2 C$	Суммарное	$+$	14	17	22	30	40			
		Верхнее	$+$	0	0	0	0	0			
		Нижнее	$-$	35	45	50	60	70			
$S_2 X$	Суммарное	$-$	0	0	0	0	0				
	Верхнее	$-$	14	17	22	30	40				
	Нижнее	$-$	50	60	70	90	110				
$S_2 L$	Суммарное	$-$	0	0	0	0	0				
	Верхнее	$-$	30	35	45	60	80				
	Нижнее	$-$	65	80	95	120	150				
Допустимые сочетания полей допусков размеров d и o и при центрировании по d							Поля допусков преимущественного применения				
Посадки по	d	отверстия	A	$A; A_{2a}$		A_{2a}		A			
			вала	$G; P$	$P; C; C_{2a}; D; X; J$	C_{2a}	L	L_{2a}	P	X	L
	b	отверстия	U_1			U_2			U_1		
			вала	$S_1 P$	$S_1 C$	$S_1 X$	$S_2 C$	$S_2 X$	$S_2 L$	$S_1 P$	$S_1 X$

ТАБЛИЦА 1.36

Допуски и посадки прямобочных шлицевых соединений
при центрировании по наружному диаметру D
(по ГОСТ 1139—53)

Пределные отклонения диаметра центрирования D в мкм				Пределные отклонения размера b при центрировании по наружному диаметру D в мкм														
Условные обозначения полей допусков	Наименование предельных отклонений	Интервалы наружных диаметров D в мм						Условные обозначения полей допусков	Наименование предельных отклонений	Интервалы внутренних диаметров d в мм								
		в. 10	св. 18	св. 30	св. 50	св. 80	св. 120			св. 180	св. 10	св. 18	св. 30	св. 50	св. 80	св. 120	св. 180	
Отверстия	А	Верхнее Нижнее Суммарное	+	-	19 0 9	23 0 10	27 0 12	30 0 14	35 0 16	45 0 20	U_3	Верхнее Нижнее Суммарное	++	33 14 0	40 17 0	50 22 0	60 30 0	75 40 0
	А ₃	Верхнее Нижнее Суммарное	+	-	35 0 9	45 0 10	50 0 12	60 0 14	70 0 16	80 0 20		Верхнее Нижнее Суммарное	++	50 14 0	60 17 0	70 22 0	90 30 0	110 40 0
Р	Суммарное Верхнее Нижнее	+++	+++	33 24 12	40 30 15	47 35 13	54 40 20	60 45 23	72 52 25	S_1P	Суммарное Верхнее Нижнее	++-	20 7 11	25 8 14	30 18 18	40 10 20	50 10 25	
Л	Суммарное Верхнее Нижнее	++-	++-	15 6 6	17 7 7	20 8 3	24 10 10	28 12 12	34 14 14		Суммарное Верхнее Нижнее	+-	14 0 13	17 9 21	22 0 25	30 0 30	40 0 35	
С	Суммарное Верхнее Нижнее	+-	+-	9 0 12	10 0 14	12 0 17	14 0 20	16 0 23	20 0 27	Валов	Суммарное Верхнее Нижнее	--	0 14 32	0 17 40	0 22 50	0 30 60	0 40 75	

Вал		Лопатина зубьев											
D	Суммарное Верхнее Нижнее	+	3 18	2 10	2 12	2 15	2 18	2 22	2 27	2 32	2 38	2 45	2 50
X	Суммарное Верхнее Нижнее	—	8 16	10 20	13 25	16 30	24 40	30 50	32 55	36 60	40 75	40 90	40 100
L	Суммарное Верхнее Нижнее	—	8 16	10 20	13 25	16 30	24 40	30 50	32 55	36 60	40 75	40 90	40 100
Ш	Суммарное Верхнее Нижнее	—	8 16	10 20	13 25	16 30	24 40	30 50	32 55	36 60	40 75	40 90	40 100
C _{2a}	Суммарное Верхнее Нижнее	+	9 18	10 20	12 25	14 30	16 35	20 40	24 50	28 60	32 70	36 80	40 90
L _{2a}	Суммарное Верхнее Нижнее	—	8 16	10 20	13 25	16 30	24 40	30 50	32 55	36 60	40 75	40 90	40 100

S ₂ P	Суммарное- Верхнее Нижнее	+	20 7	25 8	30 10	40 15	50 20
S ₂ C	Суммарное Верхнее Нижнее	+	14 0	17 0	22 0	30 0	40 0
S ₂ X	Суммарное Верхнее Нижнее	—	0 14	0 17	0 22	0 30	0 40
S ₂ L	Суммарное Верхнее Нижнее	—	0 30	0 35	0 45	0 60	0 80
S ₃ L	Суммарное Верхнее Нижнее	—	0 30	0 35	0 45	0 60	0 80

Допустимое сочетание полей допусков размеров D и b при центрировании по D

Поля допусков
преимущественного
применения

D	Посадки по	A				A ₃		A	
		отвер- стия		вал		(C); C _{2a}		L _{2a}	
b	Посадки по	отвер- стия		вал		U ₃		U ₃	
		S ₁ P; S ₂ P		S ₁ P; S ₁ C; S ₂ G		S ₁ X; S ₂ X		S ₁ P; S ₂ L	
D	Посадки по	отвер- стия		вал		U ₃		U ₃	
		S ₁ P; S ₂ P		S ₁ P; S ₁ C; S ₂ G		S ₁ X; S ₂ X		S ₁ P; S ₂ L	
D	Посадки по	отвер- стия		вал		U ₃		U ₃	
		S ₁ P; S ₂ P		S ₁ P; S ₁ C; S ₂ G		S ₁ X; S ₂ X		S ₁ P; S ₂ L	

Примечание. Сочетания полей допусков, указанные в скобках, по возможности не применять.

ТАБЛИЦА 1 37

Допуски и посадки прямобоочных шлицевых соединений
(по ГОСТ 1139—58)

Предельные отклонения размера b при центрировании по боковым сторонам в мкм								
Условные обозначения полей допусков	Наименования предельных отклонений			Интервалы внутренних диаметров d в мм				
				до 18	св. 18 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120
Ширины впадин отверстий	U_3	Верхнее	+	33	40	50	60	75
		Нижнее	-	14	17	22	30	40
	Суммарное			0	0	0	0	0
	U_4	Верхнее	+	50	60	70	90	110
		Нижнее	-	14	17	22	30	40
	Суммарное			0	0	0	0	0
Толщины зубьев валов	S_1P	Суммарное	+	20	25	30	40	50
		Верхнее	+	7	8	8	10	10
		Нижнее	-	11	14	18	20	25
	S_1X	Суммарное	-	0	0	0	0	0
		Верхнее	-	14	17	22	30	40
		Нижнее	-	32	40	50	60	75
	S_2P	Суммарное	+	20	25	30	40	50
		Верхнее	+	7	8	8	10	10
		Нижнее	-	30	35	40	50	60
	S_2X	Суммарное	-	0	0	0	0	0
		Верхнее	-	14	17	22	30	40
		Нижнее	-	50	60	70	90	110

Примечание. Для преимущественного применения рекомендуются поля допуска отверстия U_3 , поля допусков вала S_1P и S_1X .

рекомендуемых стандартом посадок при разных способах центрирования показаны на рис. 1.8.

Условные обозначения прямобоочных шлицевых отверстий и валов и их соединений должны содержать на чертежах и в другой документации:

- обозначение поверхности центрирования (d , D или b);
- номинальные размеры соединения ($z \times d \times D$), см. табл. 1.34;
- условные обозначения отклонений по центрирующему диаметру и боковым сторонам впадин и зубьев в соответствии с выбранным способом центрирования и характером соединения.

ТАБЛИЦА 1.38

Предельные отклонения нецентрирующих диаметров d и D
прямобоочных шлицевых соединений в мкм

(по ГОСТ 1139—58)

Нецентри- рующий диаметр	Центриро- вание	Условные обозначе- ния полей допусков		Наименование предельных отклонений		Интервалы нецентрирующих - диаметров в мм					
						св. 10 до 18	св. 18 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180
D	По d или по b	От- вер- стий	X_6	Верхнее	+	360	420	500	600	700	800
				Нижнее	+	120	140	170	200	230	260
		Ва- лов	X_4	Суммар- ное	+	60	70	80	100	120	130
				Верхнее	—	60	70	80	100	120	130
				Нижнее	—	180	210	250	300	350	400
d	По D или по b	От- вер- стий	A_6	Верхнее	+	240	280	340	400	460	530
				Нижнее	—	0	0	0	0	0	0
		Ва- лов	—	Суммар- ное	—	60	70	80	100	120	130
				Нижнее	—	60	70	80	100	120	130
						См. размер d_1 , табл. 1.34					

Примеры условных обозначений прямобоочных шлицевых соединений при центрировании:

по d_1 $d 8 \times 52 \times 60 \frac{A}{X} \cdot \frac{U_1}{S_2 X}$ (см. табл. 1.34 и 1.35);

по D_1 $D 10 \times 72 \times 80 \frac{A_3}{Ш} \cdot \frac{U_4}{S_2 П}$ (см. табл. 1.34 и 1.36);

по b_1 $b 16 \times 62 \times 72 \frac{U_3}{S_2 X}$ (см. табл. 1.34 и 1.37).

Примеры условных обозначений шлицевых деталей при центрировании:

отверстий

по d_1 $d 8 \times 52 \times 60 A U_1$

по D_1 $D 10 \times 72 \times 80 A_3 U_4$

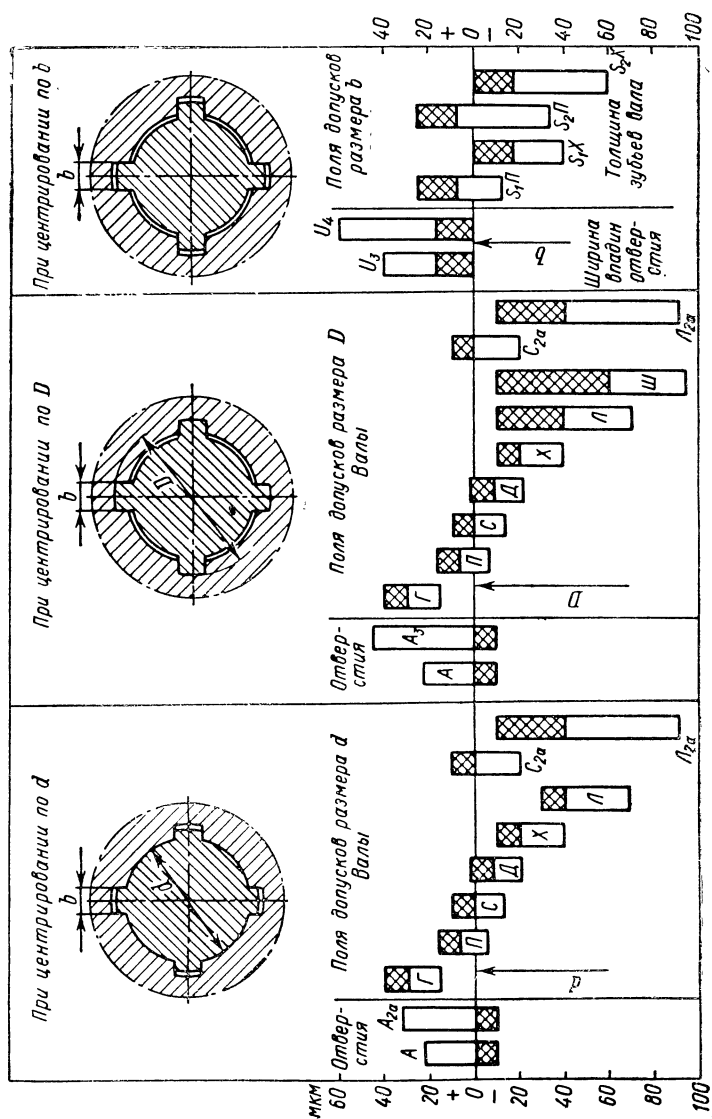
по b_1 $b 16 \times 62 \times 72 U_3$

валов

$d 8 \times 52 \times 60 X S_2 X$

$D 10 \times 72 \times 80 Ш S_2 П$

$b 16 \times 62 \times 72 S_2 X$



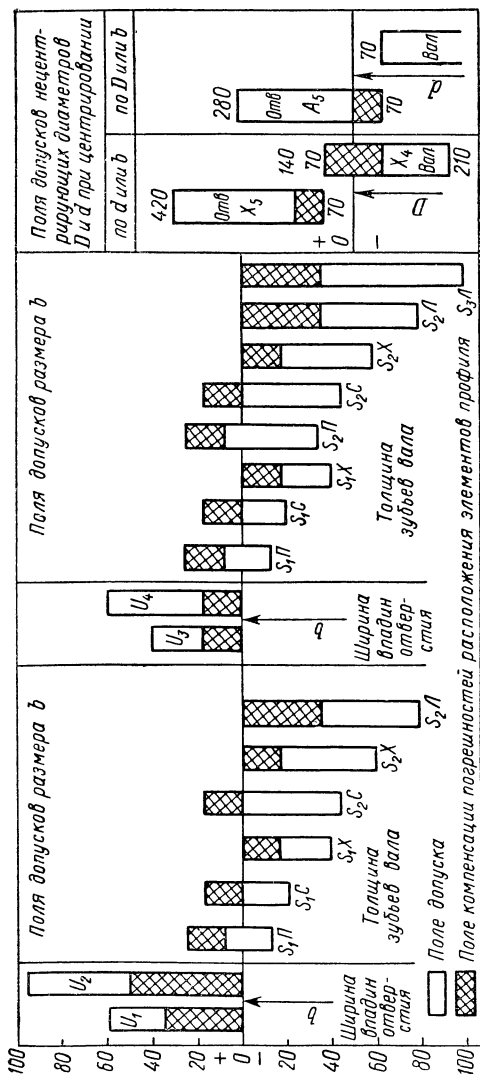


Рис. 1.8

Соединения с эвольвентным профилем шлицев

Номинальные размеры этих соединений ($D \times m \times z$), предусмотренные ГОСТ 6033—51, приведены в табл. 1.39.

При соединении шлицевых отверстий и валов данного профиля применяются два способа центрирования по размеру S или D .

О характере взаимодействия деталей по указанным размерам при обоих способах центрирования можно судить по рис. 1.9, а, б, а о форме зубьев и зависимостях между геометрическими параметрами — по приведенным ниже условным обозначениям и формулам: модуль m ;

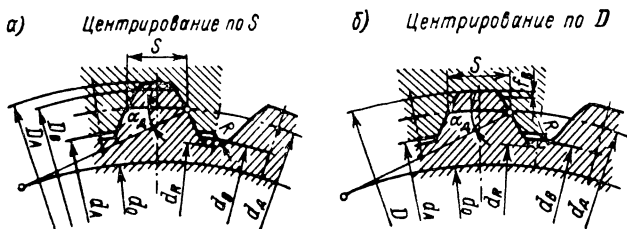


Рис. 1.9

число зубьев z ; диаметр делительной окружности $d_d = mz$; профильный угол исходного контура $\alpha_d = 30^\circ$; диаметр основной окружности $d_0 = d_d \cos \alpha_d$; шаг по дуге d_d ($t = \pi m$); смещение исходного контура $x = \frac{D - m(z + 1)}{2}$; номинальная толщина зубьев вала и ширина впадин

отверстия по d_d ($S = \frac{\pi m}{2} + 2x \operatorname{tg} \alpha_d$); диаметр окружности выступов вала $D_B = D$; внутренний диаметр вала при плоской впадине $d_B = D - 2,4m$, а при закругленной впадине $d_R = D - 2,77m$; наружный диаметр окружности впадин отверстия при центрировании по D : D , а при центрировании по S : $D_A = D + 0,4m$; внутренний диаметр отверстия $d_A = D - 2m$; высота фаски у кромки зуба вала при центрировании по D : $f_B = 0,1m$; радиус закругленной впадины или исходного контура зубчатой рейки $R = 0,47m$.

Предельные отклонения по размеру S при обоих способах центрирования назначаются по табл. 1.40 и отсчитываются от указанной выше номинальной его величины в зависимости от знаков отклонений для выбранного характера соединения и рекомендаций стандарта.

Установлены три предельных отклонения:

а) предельное суммарное отклонение (нижнее для ширины впадин отверстия и верхнее для толщины зубьев вала), определяющее соответственно толщину зубьев или ширину впадин комплексных калибров-пробок и колец и потому используемое при расчетах и контроле с помощью роликов комплексных калибров-пробок для шлицевых отверстий и контрольных калибров У-ПР к комплексным калибрам-кольцам для шлицевых валов с диаметрами до 150 мм и модулем до 5 мм;

б) два предельных отклонения (верхнее и нижнее), предназначенные для использования при измерении с помощью

ТАБЛИЦА 1.39

Размерные ряды эвольвентных шлицевых соединений
(по ГОСТ 6033—51)

Номиналь- ный диаметр в мм	m = 1		m = 1,5		m = 2		m = 2,5		m = 3,5		m = 5		Номиналь- ный диаметр в мм	m = 2,5		m = 3,5		m = 5		m = 7		m = 10	
	z/x		z/x		z/x		z/x		z/x		z/x			z/x		z/x		z/x		z/x		z/x	
12	11/0												90	34/1,25		24/1,25		16/2,5					
13	12/0												95	36/1,25		26/0,25,		18/0					
15	14/0												100	38/1,25		28/—0,75		18/2,5					
17	16/0												110	42/1,25		30/0,75		20/2,5		14/2,5			
20	18/0,5		12/0,25										120	46/1,25		34/—1,25		22/2,5		16/0,5			
22	20/0,5		14/—0,25										130	50/1,25		36/0,25		24/2,5		18/—1,5			
25	24/0		16/—0,25										140			38/1,75		26/2,5		18/3,5			
28	26/0,5		18/—0,25		12/1								150			42/—0,25		28/2,5		20/1,5		14/0	
30	28/0,5		18/0,75		14/0								160			44/1,25		30/2,5		22/—0,5		14/5	
32	30/0,5		20/0,25		14/1								170			48/—0,75		32/2,5		24/—2,5		16/6	
35	34/0		22/0,25		16/0,5		12/1,25						180			50/0,75		34/2,5		24/2,5		16/5	
38	36/0,5		24/0,25		18/0		14/0,25						190					36/2,5		26/0,5		18/0	
40	38/0,5		26/—0,25		18/1		14/1,25						200					38/2,5		28/—1,5		18/5	
42			26/0,75		20/0		16/—0,25						220					42/2,5		30/1,5		20/5	

Продолжение табл. 1.39

Номиналь- ный диаметр в мм	$m = 1$	$m = 1,5$	$m = 2$	$m = 2,5$	$m = 3,5$	$m = 5$	Номиналь- ный диаметр в мм	$m = 2,5$	$m = 3,5$	$m = 5$	$m = 7$	$m = 10$
	z/x	z/x	z/x	z/x	z/x	z/x		z/x	z/x	z/x	z/x	z/x
45		28/0,75	22/-0,5	16/1,25			240			46/2,5	34/-2,5	22/5
50		32/0,25	24/0	18/1,25			260			50/2,5	36/0,5	24/5
55		36/-0,25	26/0,5	20/1,25	14/1,25		280				38/3,5	26/5
60		38/0,75	28/1	22/1,25	16/0,25		300				42/-0,5	28/5
65			32/-0,5	24/1,25	18/-0,75		320					30/5
70			34/0	26/1,25	18/1,75		340					32/5
75			36/0,5	28/1,25	20/0,75		360					34/5
80			38/1	30/1,25	22/-0,25		380					36/5
85				32/1,25	24/-1,25		400					38/5

П р и м е ч а н и я

1. Модуль $m = 7$ по возможности не следует применять.
2. Стандарт не распространяется на изделия, для которых другими стандартами установлены специальные для этих изделий размеры зубчатых эвольвентных соединений.
3. При модернизации машин и необходимости сохранения взаимозаменяемости деталей допускается сохранение размеров эвольвентных соединений по чертежам ранее выпускавшихся машин, а также применение размеров, отличных от установленных стандартом, с разрешения ГОСТа СССР.

ТАБЛИЦА 1.40
Отклонения по размеру S при центрировании эвольвентных шлицевых соединений по S и D
(по ГОСТ 6033—51)

Группа модулей в мм	Условные обозначения отклонений	Обозначения отклонений ширины впадин отверстий					Обозначения отклонений толщины зубьев валов							
		Знак отклонения	Отклонения в мкм			Условные обозначения отклонений	S_3H	S_3C	S_3X	$S_{3a}H$	$S_{3a}C$	$S_{3a}X$	$S_4Ш$	
			S_3	S_{3a}	S_4									
1; 1,5	НЕ ПР К	+	45 20 0	70 30 0	100 40 0	К ПР НЕ	+45 +25 0	+20 0 -25	0 -20 -45	+70 +40 0	+30 0 -40	0 -30 -70	-30 -65 -120	
			55 25 0	85 35 0	125 45 0	К ПР НЕ	+55 +30 0	+25 0 -30	0 -25 -55	+85 +50 0	+35 0 -50	0 -35 -85	-35 -70 -150	
5; 7	НЕ ПР К	+	65 30 0	100 40 0	150 50 0	К ПР НЕ	+65 +35 0	+30 0 -35	0 -30 -65	+100 +60 0	+40 0 -60	0 -40 -100	-40 -80 -180	
			80 40 0	120 50 0	180 60 0	К ПР НЕ	+80 +40 0	+40 0 -40	0 -40 -80	+120 +70 0	+50 0 -70	0 -50 -120	-50 -110 -230	

роликов толщины зубьев и ширины впадин эвольвентных шлицевых валов и отверстий любых размеров по ГОСТ 6033—51, а также при расчете исполнительных размеров предельных калибров для контроля отдельных зубьев вала и ширины отдельных впадин отверстий.

Разность между предельным суммарным отклонением для комплексного калибра (К) и верхним отклонением толщины зубьев вала (или соответственно нижним отклонением ширины впадины отверстия)

компенсирует ошибки профиля и расположение зубьев (или впадин).

Валы считаются годными, если комплексный калибр-кольцо проходит и толщина зуба не выходит за установленный нижний предел (НЭ). Отверстия же считаются годными, если комплексный калибр-пробка проходит и ширина впадины не выходит за установленный верхний предел (НЭ).

Верхнее отклонение (ПР) толщины зуба и нижнее отклонение (ПР) ширины впадин — ориентировочные.

Расположение полей допусков соединяемых деталей по размеру S при обоих способах центрирования показано на рис. 1.10, а по раз-

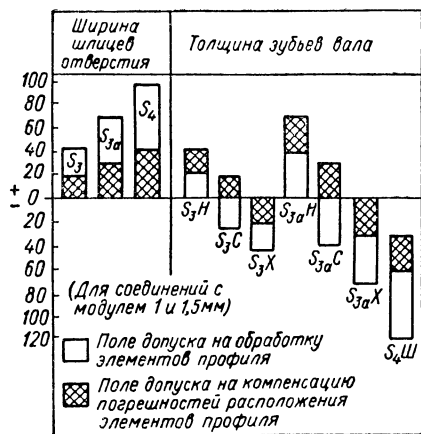


Рис. 1.10

меру D оно является обычным для предусмотренных ГОСТ 6033—51 посадок системы отверстия по этому размеру эвольвентных шлицевых отверстий и валов.

При центрировании по S рекомендуются следующие комбинации отклонений: для соединения с натягом $\frac{S_3}{S_3H}$ и $\frac{S_{3a}}{S_{3a}H}$, а для соединений с зазором — все остальные комбинации отклонений (см. табл. 1.40). Если по условиям обработки не требуется большей точности, для нецентрирующих диаметров устанавливаются следующие отклонения:

по D_B : по X_3 (ОСТ 1013) или C_4 (ОСТ 1014);

по d_A : по A_3 (ОСТ 1013); A_{3a} (ОСТ НКМ 1017) или A_4 (ОСТ 1014).

При центрировании по D рекомендуются по размеру D :

для соединений с натягом посадки $\frac{A}{F}$, $\frac{A_{2a}}{F}$, $\frac{A}{H}$, а для соединений с зазором посадки $\frac{A}{C}$, $\frac{A_{2a}}{C}$, $\frac{A}{D}$, $\frac{A_{2a}}{D}$, $\frac{A_{2a}}{X}$; по нецентрирующему размеру S : $\frac{S_{3a}}{S_{3a}X}$ и $\frac{S_4}{S_4H}$.

Эти обозначения (по D или S) соответственно должны входить в состав условных обозначений шлицевых соединений и деталей на чертежах.

Условные обозначения эвольвентных шлицевых отверстий, валов и их соединений должны содержать буквы *Эв.*, номинальный размер (*Эв. D × t × z*) и условные обозначения отклонений, зависящие от принятого способа центрирования и характера выбранного соединения.

Примеры условных обозначений соединений при центрировании:

по *S*: *Эв. 30 × 2 × 14* $\frac{S}{S_3 X}$ (табл. 1.39 и 1.40);

по *D*: *Эв. 95 × 5 × 18* $\frac{A_{2a}}{X} \cdot \frac{S_4}{S_4 III}$ (см. ОСТ НКМ 1016 и

табл. 1.39, 1.40).

Примеры условных обозначений отверстий при центрировании:

по *S*: *Эв. 30 × 2 × 14* S_3 (табл. 1.39 и 1.40);

по *D*: *Эв. 95 × 5 × 18* $A_{2a} \frac{S_4}{S_4 III}$ (см. ОСТ НКМ 1016 и табл. 1.39, 1.40).

Примеры условных обозначений валов при центрировании:

по *S*: *Эв. 30 × 2 × 14* $S_3 X$ (табл. 1.39 и 1.40);

по *D*: *Эв. 95 × 5 × 18* $S_4 III$ (ОСТ 1012 и табл. 1.39, 1.40).

Допуски и посадки шпоночных соединений

Допуски и посадки для призматических и сегментных шпоночных соединений стандартизованы ГОСТ 7227—58 как по размеру *b* шпонок и шпоночных пазов во втулках и на валах, так и по ряду других размеров, влияющих на качество этих соединений.

Рекомендуемые стандартом виды соединений, соответствующие им предельные отклонения и типовое назначение посадок приведены в табл. 1.41, из которой видно, что в основном предельные отклонения заимствованы из системы ОСТ (для шпонок B_3 по ОСТ 1023 и X_3 по ОСТ 1013, для пазов втулки A_3 — по ОСТ 1013), но применяются и специальные отклонения: *ПШ* для паза вала и *ПШ₁* для паза втулки, численные величины и знаки которых приведены в табл. 1.42.

Схема расположения полей допусков для предусмотренных стандартом посадок по размеру *b* (для *b* = 10 мм) приведена на рис. 1.11.

Для прочих размеров шпонок и пазов стандартом установлены следующие допуски: B_4 (ОСТ 1024) для высоты шпонки *h*; A_5 (ОСТ 1015) для глубины паза вала *t* и втулки t_1 ; B_7 (ОСТ 1010 и ГОСТ 2689—54)

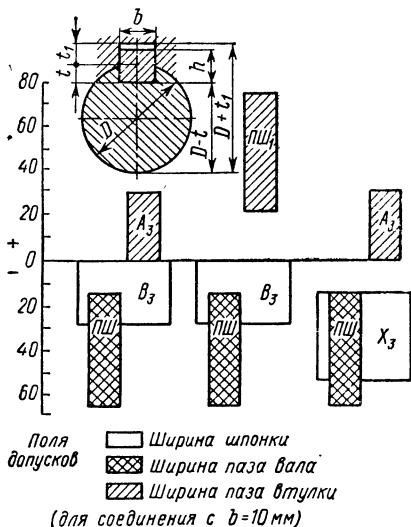


Рис. 1.11

ТАБЛИЦА 1.41

Предельные отклонения шпонок и пазов на валах и втулках
по ширине b

(по ГОСТ 7227—58)

Вид соединения	Предельные отклонения размеров			Назначение посадок
	шпонки	паза вала	паза втулки	
Неподвижное напряженное по валу, скользящее по втулке	B_3	$ПШ$	A_3	Для индивидуального и серийного производства (общее машиностроение)
Неподвижное напряженное по валу, ходовое по втулке			$ПШ_1$	Для индивидуального и серийного производства (автостроение и т. п.)
Неподвижное плотное по валу, ходовое по втулке	H_3		A_3	Для направляющих шпонок

ТАБЛИЦА 1.42

Специальные предельные отклонения пазов на валах и втулках
по ширине b

(по ГОСТ 7227—58)

Номинальная ширина шпонки и паза в мм	Пазы вала и втулки				Номи- нальная ширина шпонки и паза в мм	Пазы вала и втулки			
	ПШ		ПШ ₁			ПШ		ПШ ₁	
	Предельные отклонения в мкм					Предельные отклонения в мкм			
	верх- нее	ниж- нее	верх- нее	ниж- нее		верх- нее	ниж- нее	верх- нее	ниж- нее
От 1 до 3	-10	-50	+55	+10	Св. 18 до 30	-25	-90	+100	+30
Св. 3 » 6	-10	-55	+65	+15	Св. 30 до 50	-32	-105	+120	+35
» 6 » 10	-15	-65	+75	+20	Св. 50 до 80	-40	-125	+140	+40
» 10 » 18	-20	-75	+85	+25	Св. 80 до 120	-50	-150	+160	+45

для длины призматической шпонки l ; A_8 (ОСТ 1010) для длины паза вала под призматическую шпонку; B_5 (ОСТ 1025) для диаметра сегментной шпонки d ; для диаметра паза вала под сегментную шпонку — с отклонением не более $+0,08d$.

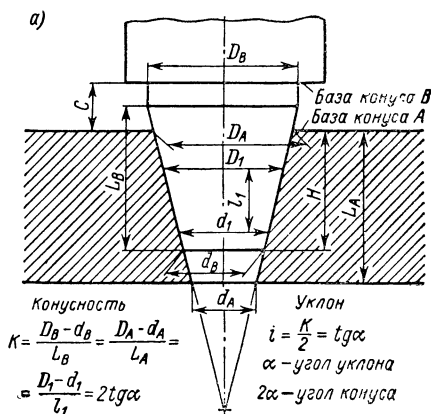
7. ДОПУСКИ НА КОНУСЫ И УГЛЫ

Основные понятия и термины. Виды конических соединений и основные зависимости

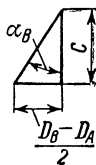
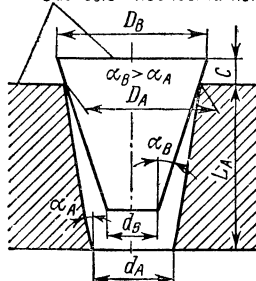
Коническими называются соединения, образованные поверхностями внутреннего (охватывающего) и наружного (охватываемого) конусов соединяемых деталей.

На рис. 1.12, а показаны основные элементы наружного и внутреннего конусов с их размерами и взаимозависимостями: индексами A и B снабжены размеры диаметров и длин, относящихся соответственно к охватывающему и охватываемому конусам; буквой H обозначена высота общей поверхности соприкосновения этих конусов; буквой C — размер базового расстояния, т. е. расстояния между базовыми поверхностями деталей конусной пары.

Базой конуса называется плоскость, перпендикулярная его оси, относительно которой определяется положение других сечений



б) Базовые плоскости конусов A и B



в)

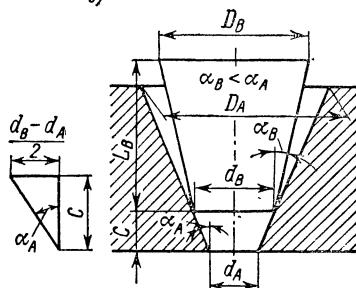


Рис. 1.12

конуса. Практически за базу обычно принимают торцовые поверхности впаечников, буртиков, корпусов и тому подобных элементов соединяе-

мых конусных деталей исходя из удобств контроля их взаимного расположения (базорасстояния).

Конусные соединения бывают подвижные, плотные и неподвижные.

П о д в и ж н ы м и называются соединения, обеспечивающие возможность легкого разъединения деталей конусной пары и регулирования зазоров между ними (например, в конических подшипниках станков).

П л о т н ы м и называются соединения, обеспечивающие герметичность (газо-, паро- и водонепроницаемость), получаемую при притирке деталей конусных пар (широко применяются в арматуре различного назначения, в клапанах двигателей и др.).

Н е п о д в и ж н ы м и называются соединения, обеспечивающие натяги, необходимые для передачи крутящих моментов, получаемые за счет затяжки деталей конусной пары относительно друг друга (например, в соединениях инструментальных и станочных конусов, в фрикционных устройствах и др.).

Качество конусных соединений зависит от точности выполнения диаметров, углов уклона и длин наружного (D) и внутреннего (A) конусов. Отклонения от номинальных размеров любого из этих размеров влекут за собой соответствующие изменения величины базорасстояния C , благодаря чему оно является приведенным размером конусного соединения.

Для случая, когда $\alpha_B > \alpha_A$ (рис. 1.12, б),

$$C = \frac{D_B - D_A}{2 \operatorname{tg} \alpha_B}. \quad (1.6)$$

Исходя из удобств контроля, размер D_A целесообразно заменить другими размерами, в результате чего получим

$$C = \frac{D_B - d_A}{2 \operatorname{tg} \alpha_B} - L_A \frac{\operatorname{tg} \alpha_A}{\operatorname{tg} \alpha_B}. \quad (1.7)$$

Дифференцирование этого уравнения по переменным D_B ; d_A ; α_B ; α_A и L_A дает зависимости для верхнего и нижнего отклонений размера C :

$$\Delta_B C = \frac{\Delta_B D_B - \Delta_B d_A}{2 \operatorname{tg} \alpha} - \frac{2C}{\sin 2\alpha} \Delta_B \alpha_B - \frac{2L_A}{\sin 2\alpha} \Delta_B \alpha_A - \Delta_B L_A; \quad (1.8)$$

$$\Delta_B C = \frac{\Delta_B D_B - \Delta_B d_A}{2 \operatorname{tg} \alpha} - \frac{2C}{\sin 2\alpha} \Delta_B \alpha_B - \frac{2L_A}{\sin 2\alpha} \Delta_B \alpha_A - \Delta_B L_A. \quad (1.9)$$

Алгебраическая разность между этими выражениями равна допуску базорасстояния

$$\delta C = \frac{\delta D_B + \delta d_A}{2 \operatorname{tg} \alpha} + \frac{2C}{\sin 2\alpha} \delta \alpha_B + \frac{2L_A}{\sin 2\alpha} \delta \alpha_A + \delta L_A, \quad (1.10)$$

где C , D_B , d_A и L_A — номинальные значения размеров в мм; α — номинальная величина угла уклона конуса; Δ_B , Δ_B и δ — с индексами D_B , d_A и L_A — предельные отклонения и допуски этих размеров в мм, а с индексами α_B и α_A — предельные отклонения и допуски углов уклона наружного и внутреннего конусов в рад.

Учитывая, что отклонения и допуски на угловые размеры обычно задаются в угловых единицах и вводя переводный коэффициент ($1' = 0,291 \cdot 10^{-3}$), а также принимая во внимание, что для конусностей от 1 : 200 до 1 : 5 можно считать $2 \operatorname{tg} \alpha = \sin 2\alpha = K$ (см. рис. 1.12, а), формулы (1.8)—(1.10) можно представить в следующем виде:

$$\Delta_B C = \frac{\Delta_B D_B - \Delta_B d_A}{K} - \frac{0,582 \cdot 10^{-3} C}{K} \Delta_B \alpha_B - \frac{0,582 \cdot 10^{-3} L_A}{K} \times \\ \times \Delta_B \alpha_A - \Delta_B L_A; \quad (1.11)$$

$$\Delta_B C = \frac{\Delta_B D_B - \Delta_B d_A}{K} - \frac{0,582 \cdot 10^{-3} C}{K} \Delta_B \alpha_B - \\ - \frac{0,582 \cdot 10^{-3} L_A}{K} \Delta_B \alpha_A - \Delta_B L_A; \quad (1.12)$$

$$\delta C = \frac{\delta D_B + \delta d_A}{K} + \frac{0,582 \cdot 10^{-3} C}{K} \delta \alpha_B + \frac{0,582 \cdot 10^{-3} L_A}{K} \delta \alpha_A + \delta L_A. \quad (1.13)$$

Для случая, когда $\alpha_B < \alpha_A$ (рис. 1.12, в), эти формулы примут следующий вид:

$$\Delta_B C = \frac{\Delta_B D_B - \Delta_B d_A}{K} - \frac{0,582 \cdot 10^{-3} C}{K} \Delta_B \alpha_A - \\ - \frac{0,582 \cdot 10^{-3} L_B}{K} \Delta_B \alpha_B - \Delta_B L_B; \quad (1.14)$$

$$\Delta_B C = \frac{\Delta_B D_B - \Delta_B d_A}{K} - \frac{0,582 \cdot 10^{-3} C}{K} \Delta_B \alpha_A - \\ - \frac{0,582 \cdot 10^{-3} L_B}{K} \Delta_B \alpha_B - \Delta_B L_B; \quad (1.15)$$

$$\delta C = \frac{\delta D_B + \delta d_A}{K} + \frac{0,582 \cdot 10^{-3} C}{K} \delta \alpha_A + \\ + \frac{0,582 \cdot 10^{-3} L_B}{K} \delta \alpha_B + \delta L_B. \quad (1.16)$$

В формулах (1.11)—(1.16) предельные отклонения и допуски на угловые размеры — в мин.

Нормальные угловые размеры, конусности и допуски

Угловые размеры деталей машин, механизмов, приборов, оборудования, инструмента и оснастки можно подразделить на три основные группы.

ТАБЛИЦА 1.43

Ряды и размеры нормальных углов общего назначения
(по ГОСТ 3908—58)

Ряды углов								
1	2	3	1	2	3	1	2	3
Размеры								
0°	0°	0°			9°		55°	55°
		0° 15'		10°	10°			60°
	0° 30'	0° 30'			12°	60°	60°	65°
		0° 45'			13°			70°
	1°	1°	15°	15°	15°		75°	75°
		1° 30'			18°			80°
	2°	2°		20°	20°			85°
		2° 30'			22°	90°	90°	90°
	3°	3°		25°	25°			100°
		4°	30°	30°	30°			110°
	5°	5°			35°	120°	120°	120°
		6°			40°			180°
	8°	7°	45°	45°	45°			270°
		8°			50°			360°

Примечания:

1. Данные этой таблицы не распространяются на угловые размеры, связанные расчетными зависимостями с другими принятыми размерами, и на угловые размеры конусов с нормальной конусностью по ГОСТ 3593—57 (см. табл. 1.44).

2. При выборе углов первый ряд следует предпочитать второму, а второй — третьему.

ТАБЛИЦА 1.44

Нормальные конусности общего назначения
(по ГОСТ 3593—57)

Конус- ность $K=2 \operatorname{tg} \alpha$	Угол конуса 2α	Угол уклона α	Конус- ность $K=2 \operatorname{tg} \alpha$	Угол конуса 2α	Угол уклона α
1 : 200	0° 17' 11"	0° 8' 36"	1 : 7	8° 10' 16"	4° 5' 8"
1 : 100	0° 34' 23"	0° 17' 11"	1 : 5	11° 25' 16"	5° 42' 38"
1 : 50	1° 8' 45"	0° 34' 23"	1 : 3	18° 55' 29"	9° 27' 44"
1 : 30	1° 54' 35"	0° 57' 17"	1 : 1,866	30°	15°
1 : 20	2° 51' 51"	1° 25' 56"	1 : 1,207	45°	22° 30'
1 : 15	3° 49' 6"	1° 54' 33"	1 : 0,866	60°	30°
1 : 12	4° 46' 19"	2° 23' 9"	1 : 0,652	75°	37° 30'
1 : 10	5° 43' 29"	2° 51' 45"	1 : 0,500	90°	45°
1 : 8	7° 9' 10"	3° 34' 35"	1 : 0,289	120°	60°

Примечания:

1. Расчетные значения углов конуса и уклона приведены в таблице с точностью до 1", а расчетные значения знаменателя в выражении конусности — с точностью до 0,001.

2. Кроме конусностей общего назначения, допускаются к применению конусности специального назначения, область применения которых регламентирована в стандартах на конкретные изделия.

1. Нормальные углы общего назначения, рекомендуемые в первую очередь к применению в практике конструирования и производства. Ряды и размеры этих углов приведены в табл. 1.43, а конусности — в табл. 1.44.

2. Нормальные углы специального назначения, применяемые для стандартизированных деталей с различной конусностью, величины и назначения которых приведены в табл. 1.45.

ТАБЛИЦА 1.45

Нормальные конусности специального назначения

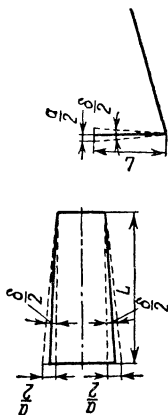
Конусность $K=2 \lg \alpha$	Угол конуса 2α	Угол уклона α	Стандарты	Область применения
0,04988	2° 51' 26"	1° 25' 43"	ГОСТ 2847—67	№ 1
0,04995	2° 51' 41"	1° 25' 50"		№ 2
0,05020	2° 52' 32"	1° 26' 16"		№ 3
0,05194	2° 58' 31"	1° 29' 15"		№ 4
0,05205	2° 58' 54"	1° 29' 27"		№ 0
0,05214	2° 59' 12"	1° 29' 36"		№ 6
0,05263	3° 0' 53"	1° 30' 26"		№ 5
1 : 16	3° 34' 47"	1° 47' 24"	ГОСТы: 632—64 6485—69 6111—52 6211—69	Муфты обсадных труб, конические трубные резьбы и калибры
3 : 25	6° 52' 2"	3° 26' 1"	ГОСТ 949—57	Баллоны стальные для газа
1 : 6	9° 31' 38"	4° 45' 49"	ГОСТ 5286—58	Замки буровых труб
1 : 4 7 : 24	14° 15' 0" 16° 35' 40"	7° 7' 30" 8° 17' 50"	ГОСТ 15945—70	Фланцевые концы шпиндельных станков. Шпиндели и оправки станков

3. Специальные углы, величина которых по условиям работы деталей, к которым они относятся, не может быть округлена до ближайшего нормального угла.

Угловые размеры подразделяются на сопрягаемые и свободные. Сопрягаемыми называются угловые размеры, влияющие на характер соединения или взаимное расположение угловых или конусных деталей, а также размеры, входящие в состав звеньев размерных цепей.

ТАБЛИЦА 1.46

Допуски на угловые размеры
(по ГОСТ 8903—58)



δ —допуск угла в угловых величинах; a —то же в линейных величинах

Интервалы для меньшей стороны угла в мм	Отклонения	Степени точности									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		Предельные отклонения углов (значения $\frac{a}{2}$ в мкм)									
До 3	$\frac{\delta}{2}$	$\pm 40''$	1'	1' 30''	2' 30''	4'	6'	10'	25'	1°	2° 30'
	$\frac{a}{2}$	$\pm 0,6$	0,9	1,4	2,3	3,6	5,4	9	22,5	54	135
Св. 3 до 5	$\frac{\delta}{2}$	$\pm 30''$	50''	1' 15''	2'	3'	5'	8'	20'	50'	2°
	$\frac{a}{2}$	$\pm 0,4$ $\pm 0,8$	0,7 1,3	1,1 1,9	1,8 3	2,7 4,5	4,5 7,5	7,2 12	18 30	45 75	108 180

Продолжение табл. 1.46

Интервалы длин меньшей стороны угла в мм	Отклонения	Степени точности									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		Предельные отклонения углов (значения $\frac{a}{2}$ в мкм)									
Св. 5 до 8	$\frac{\delta}{2}$	\pm	25"	40"	1'	1' 30"	2' 30"	4'	6'	15'	1° 30'
	$\frac{a}{2}$	\pm	0,6 1	1,6 1	1,5 2,4	2,3 3,6	3,8 6	6 9,6	9 14,4	22,5 36	60 135 216
Св. 8 до 12	$\frac{\delta}{2}$	\pm	20"	30"	50"	1' 15"	2'	3'	5'	12'	1° 15'
	$\frac{a}{2}$	\pm	0,8 -1,2	1,2 1,8	2 3	3 4,5	4,8 7,2	7,2 10,8	12 18	28,8 43,2	72 180 270
Св. 12 до 20	$\frac{\delta}{2}$	\pm	15"	25"	40"	1'	1' 30"	2' 30"	4'	10'	1°
	$\frac{a}{2}$	\pm	0,9 1,5	1,5 2,5	2,4 4	3,6 6	5,5 9	9 15	14,5 24	36 60	216 360
Св. 20 до 32	$\frac{\delta}{2}$	\pm	12"	20"	30"	50"	1' 15"	2'	3'	8'	50'
	$\frac{a}{2}$	\pm	1,2 1,9	2 3,2	3 4,8	5 8	7,5 12	12 19	18 29	48 77	300 480

*

Продолжение табл. 1.46

Интервалы для меньшей стороны угла в мм	Отклонения	Степени точности									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		Предельные отклонения углов (значения $\frac{a}{2}$ в мкм)									
Св. 32 до 50	$\frac{\delta}{2}$	\pm	10"	15"	25"	40"	1'	1' 30"	2' 30"	6'	15'
	$\frac{a}{2}$	\pm	1,6 2,5	2,4 3,8	4 6	6,5 10	9,5 15	14,5 22,5	24 37,5	57,5 90	144 225
Св. 50 до 80	$\frac{\delta}{2}$	\pm	8"	12"	20"	30"	50"	1' 15"	2'	5'	12'
	$\frac{a}{2}$	\pm	2 3,2	3 4,8	5 8	7,5 12	12,5 20	19 30	30 48	75 120	180 288
Св. 80 до 120	$\frac{\delta}{2}$	\pm	3"	10"	15"	25"	40"	1'	1' 30"	4'	10'
	$\frac{a}{2}$	\pm	2,4 3,6	4 6	6 9	10 15	16 24	24 36	36 54	96 144	240 360
Св. 120 до 200	$\frac{\delta}{2}$	\pm	5"	8"	12"	20"	30"	50"	1' 15"	3'	8'
	$\frac{a}{2}$	\pm	3 5	4,5 8	7 12	12 20	18 30	30 50	45 75	108 180	288 480
Св. 200 до 320	$\frac{\delta}{2}$	\pm	4"	6"	10"	15"	25"	40"	1'	2' 30"	6'
	$\frac{a}{2}$	\pm	4 6,5	5 9,5	10 15	15 24	25 40	40 64	60 96	150 240	360 576

Продолжение табл. 1.46

Интервалы длин меньшей стороны угла в мм	Отклонения	Степени точности									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		Предельные отклонения углов (значения $\frac{a}{2}$ в мкм)									
Св. 320 до 500	$\frac{\delta}{2}$	\pm	3"	5"	8"	12"	20"	30"	0"	2'	5'
	$\frac{a}{2}$	\pm	4,8 7,5	8 12,5	13 20	19 30	32 50	48 75	80 125	192 300	480 750
Св. 500 до 800	$\frac{\delta}{2}$	\pm	3"	4"	5"	10"	15"	25"	40"	1' 30"	4'
	$\frac{a}{2}$	\pm	7,5 12	10 16	15 24	25 40	37,5 60	62,5 100	100 160	225 360	600 960
Св. 800 до 1250	$\frac{\delta}{2}$	\pm	2"	3"	5"	8"	12"	20"	30"	1' 15"	3'
	$\frac{a}{2}$	\pm	8 12,5	12 19	20 31	32 50	48 75	80 125	120 187,5	300 469	720 1125
Св. 1250 до 2000	$\frac{\delta}{2}$	\pm	2"	3"	4"	6"	10"	15"	25"	1'	2' 30"
	$\frac{a}{2}$	\pm	12,5 20	19 30	25 40	37,5 60	62,5 100	94 150	156 250	375 600	938 1500

Примечания:

1. При наличии специальных конструктивных требований допуски не симметрично расположены предельных отклонений угловых размеров с сохранением величин допусков по данному стандарту.

2. Предельные отклонения в линейных величинах (a) для крайних значений интервалов длин приведены для справок, а определены по формуле $\frac{a}{2} \approx \text{Ltg } \frac{\delta}{2}$ с округлениями. В чертежах должны проставляться только отклонения угла.

С в о б о д н ы м и называются угловые размеры, по которым угловые или конусные детали не входят в соединение друг с другом или в состав звеньев размерных цепей.

Д о п у с к и на уг л о в ы е р а з м е р ы (по ГОСТ 8908—58), как видно из табл. 1.46, подразделяются на 10 степеней точности и зависят от длины меньшей стороны угла или образующей конусной поверхности. Общие рекомендации по применению их на практике приведены в табл. 1.47.

ТАБЛИЦА 1.47

Рекомендации по применению допусков на угловые размеры

Степень точности	Примеры применения	Методы получения точности
1—3	Калибры для инструментальных конусов повышенной и нормальной точности; меры угловые (плитки) 1 и 2-го классов; калибры конусные для штифтов и отверстий, угольники инструментальные 1-го класса; детали по стандартам на нормы точности станков; валки шлифованные на кругло- и бесцентровошлифовальных станках и чисто обточенные на прецизионных токарных станках; отверстия, расточенные на алмазно-расточных станках	Тонкое шлифование, алмазное точение и чистовое развертывание, лекальные работы
4—6	Штифты конусные (1 : 50) высокой и повышенной точности; фрикционные детали высокой точности; конусы инструментальные (Морзе и метрические); угольники инструментальные 2 и 3-го классов; углы фланкирования червячных фрез	Шлифование, развертывание, точение и слесарная обработка высокой точности
7—8	Фрикционные детали с последующей подгонкой; колеса зубчатые конические, центрирующие концы осей; штифты конические (1 : 50) нормальной точности; передние углы чистовых долбяков; направляющие планки кареток; пазы для поводков; детали из пластмасс и другие детали средней точности	Шлифование и точение на токарных и revolverных станках нормальной точности; фрезерование высокой точности с применением делительных механизмов; прессование деталей из пластмасс обычной точности; литье в постоянные формы
9—10	Звездочки фиксаторов, атупки стопорные к поводкам; передние углы обдирочных долбяков и модульных фрез; храповые фрикционные остановки; прессованные детали из пластмасс; кольца электродвигателей; кулачковые шайбы ограничителей и т. п.	Получистовое точение, чистовое фрезерование, строгание в приспособлении, гибка в штампах высокой точности, вырубка контуров холодной штамповкой, прессование пластмасс и керамики высокой точности

В качестве основного принято симметричное расположение полей допусков, но при наличии специальных требований могут применяться односторонние способы расположения: плюсовой; минусовой; способ, при котором $\alpha_B > \alpha_A$; способ, при котором $\alpha_B < \alpha_A$.

Вопрос о выборе наиболее рационального способа расположения имеет большое значение, так как от этого зависят величины и знаки отклонений размера базорасстояния относительно его номинала.

Пример 1. Исходные данные: номинальные значения размеров C ; D_B ; d_A ; L_A и α , а также допуски размеров D_B ; d_A и L приведены на рис. 1.13.

При $\alpha = 5^\circ$ $\operatorname{tg} \alpha = 0,087$;
 $2 \operatorname{tg} \alpha = \sin 2\alpha = K = 0,174$.

Допуск на угол α — по 8-й степени точности (см. табл. 1.46 и 1.47).

Определить δC , $\Delta_B C$ и $\Delta_H C$ при одинаковой точности, но разных способах расположения поля допуска на угол α . Результаты расчета сведены в табл. 1.48.

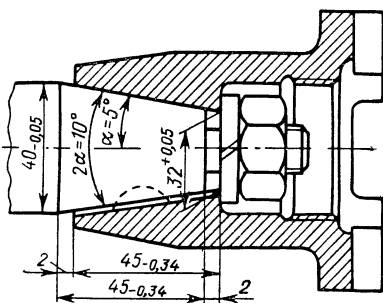


Рис. 1.13

Расчет отклонений угловых размеров

ТАБЛИЦА 1.48

№ п/п	Варианты расположения поля допуска	№ расчетных формул	Отклонения и допуски углов уклона в мин					Отклонения и допуски размера C в мм		
			$\Delta_B \alpha_B$	$\Delta_H \alpha_B$	$\Delta_B \alpha_A$	$\Delta_H \alpha_A$	$\delta \alpha_B$ и $\delta \alpha_A$	$\Delta_B C$	$\Delta_H C$	δC
1	Симметричный	(1.11—1.13) или (1.14—1.16)	+6	-6	+6	-6	12	+1,284	-1,519	2,803
2	С односторонний плюсовой		+12	0	+12	0	12	+0,340	-2,463	2,803
3	Односторонний минусовой		0	-12	0	-12	12	+2,228	-0,575	2,803
4	Односторонний при $\alpha_B > \alpha_A$	(1.11—1.13)	+12	0	0	-12	12	+2,146	-0,657	2,803
5	Односторонний при $\alpha_B < \alpha_A$	(1.14—1.16)	0	-12	+12	0	12	+2,146	-0,657	2,803

Расчеты показывают, что на величину и знаки при $\Delta_{вС}$ и $\Delta_{нС}$ допуски и отклонения угловых размеров оказывают большее влияние, чем допуски и отклонения диаметральных и линейных размеров конусных деталей, вследствие чего практически следует на угловые размеры назначить относительно более жесткие допуски, чем на диаметральные и линейные размеры.

Рассмотренные способы расположения допусков на угловые размеры не равноценны, а потому обоснованному их выбору в ответственных случаях должны предшествовать расчеты, аналогичные приведенным выше, с учетом конкретного назначения конусного соединения и условий производства, сборки и эксплуатации входящих в него деталей.

Хотя при 4 и 5-м вариантах (см. табл. 1.48) получаются численно одинаковые результаты, их нельзя считать равноценными. В конусных соединениях, подлежащих притирке, предпочтение следует отдавать 5-му варианту, так как в этом случае, согласно рис. 1.12, в, придется снимать меньше металла в процессе притирки деталей конусной пары.

8. РЕЗЬБОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Типоразмеры стандартных резьб

Виды резьб общего и специального назначения, стандартизованных в СССР, приведены в табл. 1.49. Основные определения по цилиндрическим и коническим резьбам общего назначения установлены ГОСТ 11708—66.

Метрические резьбы применяются главным образом в качестве крепежных резьб. ГОСТ 8724—58 устанавливает диаметры (от 1 до 600 мм) и шаги (от 0,2 до 6 мм) метрических резьб общего назначения.

Для нужд приборостроения ГОСТ 16967—71 устанавливает диаметры и шаги для диаметров от 3,5 до 400 мм в тех случаях, когда диаметры и шаги резьб по ГОСТ 8724—58 не могут удовлетворить конструктивным требованиям. В обоснованных случаях резьбы по ГОСТ 16967—71 могут применяться и в других отраслях.

Профиль метрических резьб (ГОСТ 9150—59) определяется углом 60° (рис. 1.14), срезом наружного диаметра на $\frac{H}{8}$ и срезом внут-

реннего диаметра на $\frac{H}{4}$. Зазоры по наружному и внутреннему диаметрам резьбы численно не регламентируются, а практически получаются выбором соответствующих размеров резьбообразующих инструментов. Форма впадины резьбы болта может выполняться как плоскосрезанной, так и закругленной (см. пунктир на рис. 1.14), причем срез резьбы на величину $\frac{H}{6} = 0,144S$ является исходным размером при проектировании резьбообразующих инструментов. Наименьший радиус закругления или наименьшая ширина площадки (при плоскосрезанной впадине) определяются их расположением на расстоянии $\frac{H}{8} = 0,108S$ от вершины теоретического профиля резьбы (рис. 1.15).

По табл. 1.50 для каждой резьбы данного диаметра (d) и шага (S) могут быть рассчитаны номинальные размеры среднего (d_2) и внутреннего (d_1) диаметров болта и гайки.

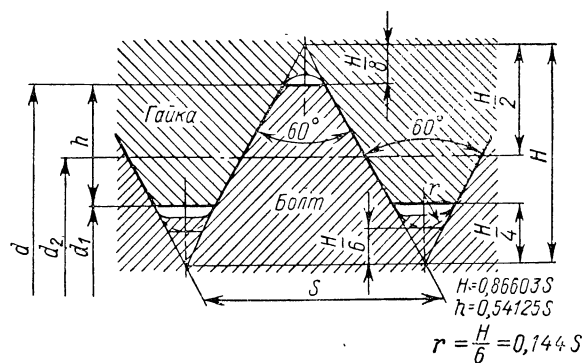


Рис. 1.11

Дюймовая резьба (ОСТ НКТП 1260) имеет угол профиля $\alpha = 55^\circ$, плоскосрезанные вершины и впадины и зазоры по наружному и внутреннему диаметрам; зазоры нужны для обеспечения взаим-

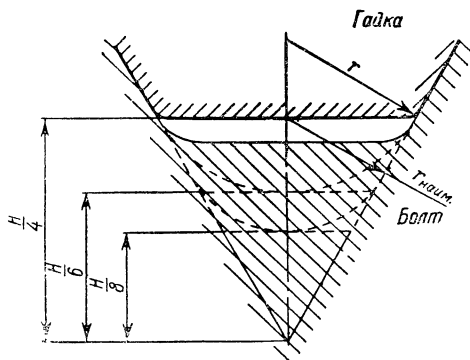


Рис. 1.15

мозаменяемости этой резьбы со старой дюймовой закругленной резьбой. Применение дюймовой резьбы во вновь проектируемых в СССР изделиях запрещено.

Трубная цилиндрическая резьба (ГОСТ 6357—52) применяется для труб, арматуры трубопроводов и т. п.

Резьбы, стандартизо

Наименование резьбы	№ ГОСТа на основные размеры	Интервалы диаметров	Интервалы шагов
Метрическая для $\varnothing 0,25-0,9$ мм	9000—59	0,25—0,9 мм	0,075—0,225 мм
Метрическая для $\varnothing 1-600$ мм	8724—58 9150—59	1—600 мм	0,2—6 мм
Метрическая для приборостроения	16967—71	3,5—400 мм	0,25—2 мм
Метрическая для $\varnothing 1-600$ мм	9150—59	1—600 мм	0,2—6 мм
Метрическая с зазорами	9150—59	1—180 мм	0,2—6 мм
Метрическая с натягами	9150—59	5—48 мм	0,8—3 мм
Метрическая для деталей из пластмасс	9150—59 11709—71 **	1—120 мм	0,2—6 мм
Дюймовая с углом профиля 55°	ОСТ НКТП 1260	$3/16-4''$	24—3 нитки на 1''
Трапецидальная одноходовая	9484—60 9484—73	10—640 мм 8—640 мм	2—48 мм
Упорная	10177—62	10—600 мм	2—48 мм

ТАБЛИЦА 1.49

данные в СССР

№ ГОСТа на допуски	Классы точности	№ ГОСТа на калибры	Примеры обозначения резьбы
9000—59	Один класс	3199—60	<i>M 0,3</i>
16093—70 **	Точный, средний, грубый	18107—72 **** 18465—73 ****	<i>M10—6h</i> <i>M10×1—5H6h</i>
17722—72	Точный, средний		<i>M80×0,75g</i>
9253—59 *	1; 2; 2а; 3	1623—61 *** 6725—53 *** 1774—71 2016—68	<i>M10 кл. 2</i> <i>M10×1 кл. 2а</i>
10191—62 *	2а; 3; 3а	10532—63 *	<i>M10 кл. 3Л</i>
4603—65	0; 1	11953—66	<i>Шпилька M14T₁2;</i> <i>соед. M14 $\frac{A_1 2}{T_1 2}$</i>
11709—66 * 11709—71 **	Средний ** Грубый ** Очень грубый **	11952—66	<i>M 36 10h8h **</i>
ОСТ НКТП 1261 ОСТ НКТП 1262	2; 3	1623—61 2016—68 1774—71	$\frac{1}{2}''$ кл. 2
9562—60	1; 2; 3; 3X	10071—62	<i>Тран. 36×6 кл. 2</i>
10177—62	1; 2	10278—62 17381—72	<i>Уп. 80×16 кл. 2</i>

Наименование резьбы	№ ГОСТа на основные размеры	Интервалы диаметров	Интервалы шагов
Упорная усиленная 45°	13535—68	80—2000 мм	5—80 мм
Трубная цилиндрическая	6357—52	$\frac{1}{8}$ —6"	28—11 ниток на 1"
Трубная коническая (с углом профиля 55°)	6211—69	$\frac{1}{8}$ —6"	28—11 ниток на 1"
Резьба коническая дюймовая с углом профиля 60° (1/1 1973 г. вводится в действие ГОСТ 6211—69)	6111—52	$\frac{1}{16}$ —2"	27—11½ ниток на 1"
Коническая дюймовая с углом профиля 60° герметическая (для пробок резьб конических автотракторных)	12717—67	$\frac{1}{8}$ —1½"	27—11½ ниток на 1"
Резьба М6×1 коническая (к масленкам для консистентных смазок и масел)	1303—56	6 мм	1 мм
Окулярная для оптических приборов	5359—50	10—80 мм	1,5—2 мм, число заходов 1—20
Для объективов микроскопов (специальная)	3469—46	$\frac{4}{5}$ "	0,705 мм при 36 нитках на 1"
Круглая для цоколей и патронов электрических ламп	6042—71	5—40 мм	1—6,35 мм
Для рассеивателей защитных стекол и корпусов светильников	8587—71	75—125 мм	7,5 мм
Для противогАЗа людского	8762—58	40 мм	4 мм

Продолжение табл. 1.49

№ ГОСТа на допуски	Классы точности	№ ГОСТа на калибры	Примеры обозна- чения резьбы
13535—68	Один класс	14747—69	<i>Уп. 200×12×45</i> <i>ГОСТ 13535—68</i> <i>Спец. уп.</i> <i>900×56×45</i> <i>ГОСТ 13535—68</i>
6357—52	2; 3	2533—54 2016—68 1774—71	<i>2" труб. кл. 2</i>
6211—69	Один класс	7157—69	<i>K $\frac{3}{4}$"</i> <i>ГОСТ 6211—69</i>
6111—52	Один класс	6485—69	<i>K $\frac{3}{4}$"</i> <i>ГОСТ 6111—52</i>
12717—67	Один класс	—	<i>КГ $\frac{3}{4}$"</i> <i>ГОСТ 12717—67</i>
—	—	—	<i>М6×1 коническая</i>
—	—	—	<i>ОК 20×(4×1,5)</i> <i>ГОСТ 5359—50</i>
3469—46	Один класс	—	<i>ОБ$\frac{4}{5}$"×$\frac{1}{32}$"</i>
6042—71	Один класс	6042—71	<i>Резьба Е14</i> <i>ГОСТ 6042—71</i>
8587—71	Один класс	8587—71	<i>A75 ГОСТ 8587—71</i>
8762—58	Один класс	8762—58	40×4

Наименование резьбы	№ ГОСТа на основные размеры	Интервалы диаметров	Интервалы шагов
Коническая вентилей и горловины баллонов для газов	9909—70	20—31 мм	1,814 (14 ниток на 1")
Замковая для бурильных труб	5286—58	62—189 мм	4—5 ниток на 25,4 мм
Для труб насосно-компрессорных и муфт к ним	633—63	33—114 мм	8—10 ниток на 25,4 мм
Для обсадных труб и муфт к ним	632—64	114—508 мм	8 ниток на 25,4 мм
Для труб бурильных с высаженными концами и муфт к ним	631—63	60—168 мм	8 ниток на 25,4 мм
Резьба труб обсадных и колонковых для геологоразведочного бурения и ниппелей к ним	6238—52	34—219 мм	4 мм
Замковая для бурильных труб колонкового геологоразведочного бурения	7918—64	42—63,5 мм	6 ниток на 25,4 мм
Для труб бурильных геологоразведочных и муфт к ним	7909—56	42—63,5 мм	10 и 8 ниток на 25,4 мм
Для геологоразведочных бурильных труб ниппельного соединения	8467—57	33,5—50 мм	6,35 мм
Круглая для санитарно-технической арматуры	13536—68	12 мм	2,54 мм

Примечания:

1. Перед № ГОСТа слово «ГОСТ» опущено.

2. Для левой резьбы к обозначению добавляется «левая». Метки на

3. Выход резьбы, сбеги, недорезы, проточки и фаски—ГОСТ 10549—63.

* — до 1/I 1974 г.; ** — с 1/I 1974 г.; *** — до 1/VII 1973 г.; **** —

Продолжение табл. 1.49

№ ГОСТа на допуски	Классы точности	№ ГОСТа на калибры	Примеры обозна- чения резьбы
9909—70	Один класс	9909—70	<i>К20 ГАЗ</i> <i>ГОСТ 9909—70</i>
5286—58	Один класс	8867—58	<i>З—92</i>
633—63	Один класс	10654—63	—
632—64	Один класс	10655—63	—
631—63	Один класс	10653—63	—
6238—52	Один класс	6361—52	—
7918—64	Один класс	8392—57	—
7909—56	Один класс	8393—57	—
8467—57	Один класс	9375—60	—
13536—68	Один класс	13798—68	<i>Кр 12×2,54</i> <i>ГОСТ 13536—68</i>

деталей с левой резьбой — ГОСТ 2904—45.

с 1/VII 1973 г. до 1/VII 1978 г.

ТАБЛИЦА 1.50

Расчет номинальных размеров
среднего и внутреннего диаметров метрических резьб

Шаг резьбы S в мм	Диаметры резьбы болта и гайки в мм		Шаг резьбы S в мм	Диаметры резьбы болта и гайки в мм	
	средний d_2	внутренний d_1		средний d_2	внутренний d_1
0,2	$d - 1 + 0,870$	$d - 1 + 0,783$	1,25	$d - 1 + 0,188$	$d - 2 + 0,647$
0,25	$d - 1 + 0,838$	$d - 1 + 0,730$	1,5	$d - 1 + 0,026$	$d - 2 + 0,376$
0,3	$d - 1 + 0,805$	$d - 1 + 0,675$	1,75	$d - 2 + 0,863$	$d - 2 + 0,106$
0,35	$d - 1 + 0,773$	$d - 1 + 0,621$	2	$d - 2 + 0,701$	$d - 3 + 0,835$
0,4	$d - 1 + 0,740$	$d - 1 + 0,567$	2,5	$d - 2 + 0,376$	$d - 3 + 0,284$
0,45	$d - 1 + 0,708$	$d - 1 + 0,513$	3	$d - 2 + 0,051$	$d - 4 + 0,752$
0,5	$d - 1 + 0,675$	$d - 1 + 0,459$	3,5	$d - 3 + 0,727$	$d - 4 + 0,211$
0,6	$d - 1 + 0,610$	$d - 1 + 0,350$	4	$d - 3 + 0,402$	$d - 5 + 0,670$
0,7	$d - 1 + 0,546$	$d - 1 + 0,242$	4,5	$d - 3 + 0,077$	$d - 5 + 0,129$
0,75	$d - 1 + 0,513$	$d - 1 + 0,188$	5	$d - 4 + 0,752$	$d - 6 + 0,587$
0,8	$d - 1 + 0,480$	$d - 1 + 0,134$	5,5	$d - 4 + 0,428$	$d - 6 + 0,046$
1	$d - 1 + 0,350$	$d - 2 + 0,918$	6	$d - 4 + 0,103$	$d - 7 + 0,505$

(рис. 1.16). Эта резьба имеет закругленный профиль. Номинальный диаметр, которым она обозначается, определяет внутренний диаметр трубы (в свету). Трубая резьба представляет собой измельченную дюймовую резьбу.

Трапецеидальная одноходовая резьба (ГОСТ 9484—60) применяется для передачи движения (ходовые винты станков, счетных механизмов, грузовые винты и др.), где важно наименьшее трение (рис. 1.17). Допусками на резьбу (ГОСТ 9562—60) предусмотрен гарантированный зазор по боковым сторонам за счет заглабления винта по среднему диаметру в классах 2, 3 и 3X. С 1/1 1975 г. взамен ГОСТ 9484—60 утвержден новый ГОСТ 9484—73 «Резьба трапецеидальная одноходовая», в который введены некоторые изменения, улучшающие качество резьбы.

Упорная резьба (ГОСТ 10177—62) применяется для восприятия одностороннего давления (гидравлические и винтовые прессы, крюки подъемных кранов и др.). Исходя из технологических соображений, рабочий угол принят равным 3° ; задний угол равен 30° . У впадин резьбы винта приняты закругления для уменьшения концентрации напряжений.

Окулярная резьба (ГОСТ 5359—50) применяется для окуляров оптико-механических приборов, где важно получить значительное перемещение окуляра при небольшом угле его поворота; число ходов резьбы 1—20.

Круглые резьбы (ГОСТ 6042—71, 8762—58, 13536—68). Профиль круглой резьбы образован дугами окружностей, связанных непосредственно или небольшими участками прямых линий. Большое распространение получили круглые резьбы, накатанные на тонко-

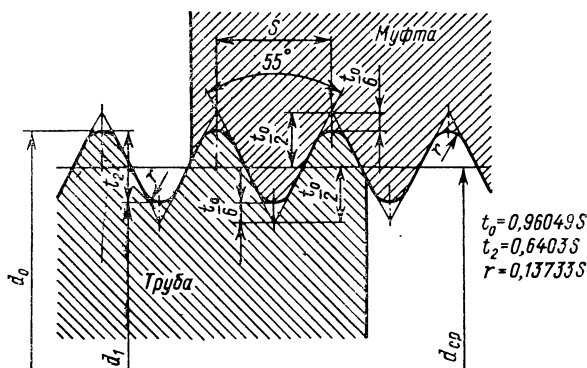


Рис. 1.16

стенных полых изделиях (резьба для цоколей и патронов электрических ламп, резьба противогазов); у этих резьб прямолинейный участок отсутствует.

Трубная коническая резьба (ГОСТ 6211—69) имеет закругленный профиль с углом 55° (рис. 1.18), соответствующий

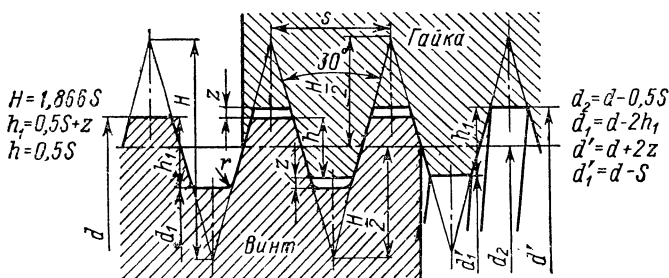


Рис. 1.17

профилю трубной цилиндрической резьбы. Диаметры трубной конической резьбы в основной плоскости равны таковым для трубной цилиндрической резьбы, что позволяет соединять в допустимых случаях цилиндрическую резьбу муфты с конической резьбой трубы.

Шаг резьбы измеряется параллельно оси трубы. Биссектриса угла профиля перпендикулярна к оси трубы.

Коническая дюймовая резьба (ГОСТ 6111—52) имеет угол 60° и притупленные вершины и впадины; притупления витков этой резьбы значительно меньше притуплений метрической крепежной резьбы, что способствует достижению непроницаемости.

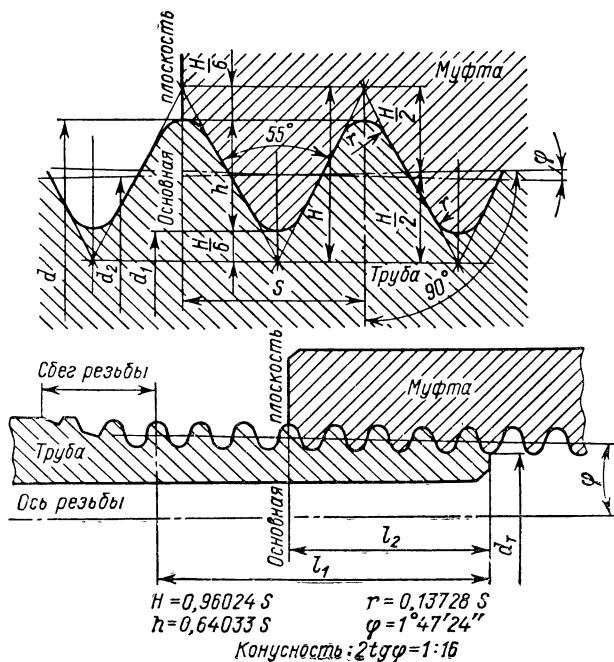


Рис. 1.18

Допуски метрических резьб

Допуски резьб для скользящей посадки и для резьб с зазорами по ГОСТ 16093—70¹. ГОСТ соответствует рекомендации СЭВ по стандартизации; в нем также учтены требования рекомендации ИСО.

Расположение полей допусков резьбы относительно номинального профиля определяется основным отклонением — верхним для болтов и нижним для гаек.

Установлены следующие ряды основных отклонений, обозначаемые буквами латинского алфавита (строчной для болтов, прописной для гаек) h, g, e, d — для резьбы болтов (рис. 1.19), H, G — для резьбы гаек (рис. 1.20). Основные отклонения h, H определяют так называемые скользящие резьбы, основные отклонения g, e, d, G — так называемые резьбы с зазорами.

¹ Срок введения с 1/1 1974 г. взамен ранее действовавших ГОСТ 9253—59 и ГОСТ 10191—62.

Установлены следующие степени точности, определяющие величины допусков диаметров резьбы болтов и гаек.

Диаметр болта		Степень точности
Наружный	4; 6; 8
Средний	4; 6; 7; 8
Диаметр гайки		
Внутренний	5; 6; 7
Средний	4; 5; 6; 7

Обозначение поля допусков диаметра резьбы состоит из цифры, показывающей степень точности, и буквы, обозначающей основное отклонение. Например, 6h, 6g, 6H.

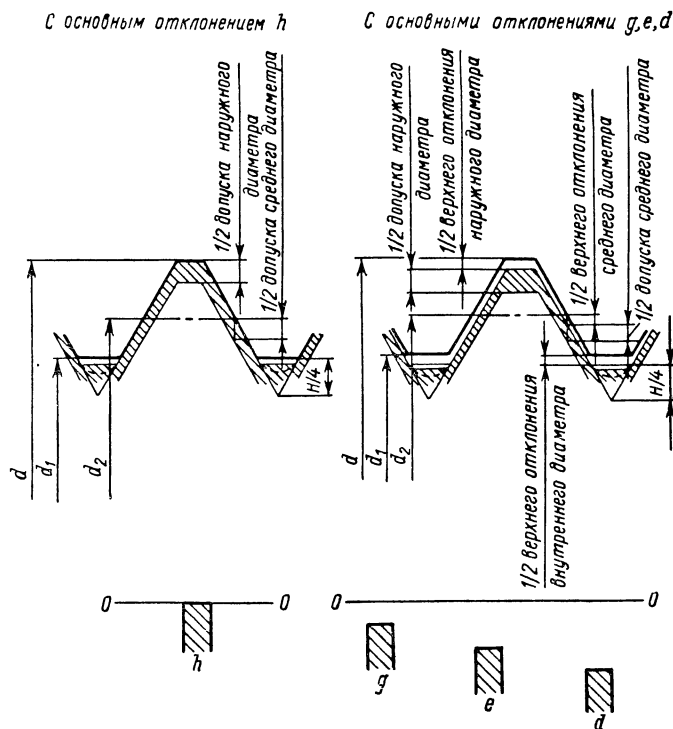


Рис. 1.19

Обозначение поля допусков резьбы состоит из обозначения поля допусков среднего диаметра, помещаемого на первом месте, и обозначения поля допусков наружного диаметра для болтов и внутреннего — для гаек. Например: 7h6h для болта, 5H6H для гайки.

Если обозначение поля допуска диаметра по вершинам резьбы совпадает с обозначением поля допуска среднего диаметра, то оно в обозначении поля допуска резьбы не повторяется. Например: $6h$ — поля допусков среднего и наружного диаметров болта, $6H$ — поля допусков среднего и внутреннего диаметров гайки.

Примеры обозначения резьб и полей их допусков: для болтов $M12-6g$; $M12 \times 1-6g$, для гаек $M12-6H$; $M12 \times 1-6H$.

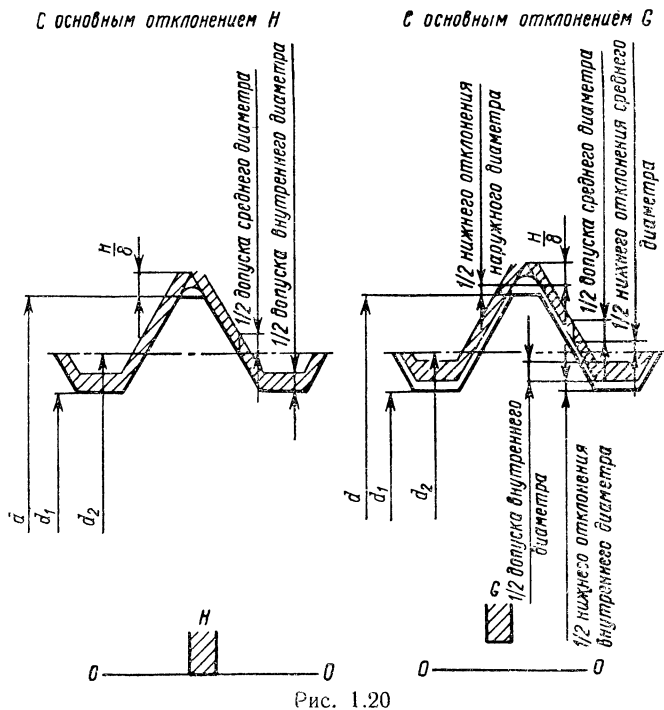


Рис. 1.20

Пример обозначения посадок резьбовых деталей: $M12-6H/6h$; $M12 \times 1-6H/6h$.

Длины свинчивания резьбы (табл. 1.51) подразделяются на три группы: S (малые), N (нормальные) и L (большие).

Допуск резьбы, если нет особых оговорок, относится к наибольшей нормальной длине свинчивания или ко всей длине резьбы, если она меньше наибольшей нормальной длины свинчивания.

Длина свинчивания, к которой относится допуск резьбы, при необходимости должна быть оговорена в технических требованиях или указана в обозначении резьбы в следующих случаях:

- если она относится к группе L ;
- если она относится к группе S , но меньше, чем вся длина резьбы.

ТАБЛИЦА 1.51

Длины свинчивания резьбы
(по ГОСТ 16093—70)

Шаг резьбы в мм	Номинальный диаметр резьбы d в мм	Длины свинчивания в мм для групп		
		S	N	L
0,2	От 1,0 до 1,4 Св. 1,4 » 2,8	До 0,5 » 0,5	Св. 0,5 до 1,4 » 0,5 » 1,5	Св. 1,4 » 1,5
0,25	От 1,0 до 1,4 Св. 1,4 » 2,8	До 0,6 » 0,6	Св. 0,6 до 1,7 » 0,6 » 1,9	Св. 1,7 » 1,9
0,3	От 1,0 до 1,4	До 0,7	Св. 0,7 до 2,0	Св. 2,0
0,35	Св. 1,4 до 2,8 » 2,8 » 5,6	До 0,8 » 1,0	Св. 0,8 до 2,6 » 1,0 » 3,0	Св. 2,6 » 3,0
0,4	Св. 1,4 до 2,8	До 1,0	Св. 1,0 до 3,0	Св. 3,0
0,45	Св. 1,4 до 2,8	До 1,3	Св. 1,3 до 3,8	Св. 3,8
0,5	Св. 2,8 до 5,6 » 5,6 » 11,2 » 11,2 » 22,4	До 1,5 » 1,6 » 1,8	Св. 1,5 до 4,5 » 1,6 » 4,7 » 1,8 » 5,5	Св. 4,5 » 4,7 » 5,5
0,6	Св. 2,8 до 5,6	До 1,7	Св. 1,7 до 5,0	Св. 5,0
0,7	Св. 2,8 до 5,6	До 2,0	Св. 2,0 до 6,0	Св. 6,0
0,75	Св. 2,8 до 5,6 » 5,6 » 11,2 » 11,2 » 22,4 » 22,4 » 45,0	До 2,2 » 2,4 » 2,8 » 3,1	Св. 2,2 до 6,7 » 2,4 » 7,1 » 2,8 » 8,3 » 3,1 » 9,5	Св. 6,7 » 7,1 » 8,3 » 9,5
0,8	Св. 2,8 до 5,6	До 2,5	Св. 2,5 до 7,5	Св. 7,5
1	Св. 5,6 до 11,2 » 11,2 » 22,4	До 3,0 » 3,8	Св. 3,0 до 9,0 » 3,8 » 11,0	Св. 9,0 » 11,0

Продолжение табл. 1.51

Шаг резьбы в мм	Номинальный диаметр резьбы d в мм	Длины свинчивания в мм для групп		
		S	N	L
1	Св. 22,4 до 45,0 » 45,0 » 90,0	До 4,0 » 4,8	Св. 4,0 до 12,0 » 4,8 » 14,0	Св. 12,0 » 14,0
1,25	Св. 5,6 до 11,2 » 11,2 » 22,4	До 4,0 » 4,5	Св. 4,0 до 12,0 » 4,5 » 13,0	Св. 12,0 » 13,0
1,5	Св. 5,6 до 11,2 » 11,2 » 22,4 » 22,4 » 45,0 » 45,0 » 90,0 » 90,0 » 180,0	До 5,0 » 5,6 » 6,3 » 7,5 » 8,3	Св. 5,0 до 15,0 » 5,6 » 16,0 » 6,3 » 19,0 » 7,5 » 22,0 » 8,3 » 25,0	Св. 15,0 » 16,0 » 19,0 » 22,0 » 25,0
1,75	Св. 11,2 до 22,4	До 6,0	Св. 6,0 до 18,0	Св. 18,0
2	Св. 11,2 до 22,4 » 22,4 » 45,0 » 45,0 » 90,0 » 90,0 » 180,0	До 8,0 » 8,5 » 9,5 » 12,0	Св. 8,0 до 24,0 » 8,5 » 25,0 » 9,5 » 28,0 » 12,0 » 36,0	Св. 24,0 » 25,0 » 28,0 » 36,0
2,5	Св. 11,2 до 22,4	До 10,0	Св. 10,0 до 30,0	Св. 30,0
3	Св. 22,4 до 45,0 » 45,0 » 90,0 » 90,0 » 180,0	До 12,0 » 15,0 » 18,0	Св. 12,0 до 36,0 » 15,0 » 45,0 » 18,0 » 53,0	Св. 36,0 » 45,0 » 53,0
3,5	Св. 22,4 до 45,0	До 15,0	Св. 15,0 до 45,0	Св. 45,0
4	Св. 22,4 до 45,0 » 45,0 » 90,0 » 90,0 » 180,0	До 18,0 » 19,0 » 24,0	Св. 18,0 до 53,0 » 19,0 » 56,0 » 24,0 » 71,0	Св. 53,0 » 56,0 » 71,0
Примечание. В табл. 1.51 и в последующих таблицах численных величин отклонений размеров резьбы приведены значения наиболее распространенных размеров— для шагов до 4 мм и для диаметров — до 180 мм.				

Пример обозначения резьбы с длиной свинчивания, отличающейся от нормальной: M12—7g6g—30.

Поля допусков болтов и гаек должны соответствовать указанным в табл. 1.52.

ТАБЛИЦА 1.52

Поля допусков резьб
(по ГОСТ 16093—70)

Классы точности резьбы	Поля допусков резьб	
	болтов	гаек
Точный	4h	4H5H
Средний	6h; $\boxed{6g}$; 6e; 6d	5H6H; $\boxed{6H}$; 6G
Грубый	8h; $\boxed{8g}$	$\boxed{7H}$; 7G
<p>Примечания:</p> <p>1. Значения полей допусков, заключенные в рамки, рекомендуются для предпочтительного применения.</p> <p>2. В обоснованных случаях разрешено применять поля допусков, которые образованы сочетанием полей допусков разных классов точности на средний диаметр и диаметр выступов (наружный диаметр болтов или внутренний диаметр гаек). Например: для болтов 4h6h; 8h6h; 8g6g; для гаек 7H6H.</p>		

При длинах свинчивания, относящихся к группе S, применение класса точности «грубый» не рекомендуется. При длинах свинчивания, относящихся к группе L, допускается применение дополнительных полей допусков (табл. 1.53).

ТАБЛИЦА 1.53

Дополнительные поля допусков резьб для длин свинчивания L
(по ГОСТ 16093—70)

Классы точности	Для болтов	Для гаек
Точный	—	5H6H
Средний	7h6h; 7g6g; 7e6e	7H; 7G

Допускаются любые сочетания полей допусков резьб болтов и гаек, установленных стандартом.

Предельные отклонения диаметров резьбы болтов должны соответствовать указанным в табл. 1.54 и 1.55, а гаек — в табл. 1.56. Предельные отклонения, взятые в скобки, применять не рекомендуется.

Предельные отклонения диаметров резьбы

Шаг резьбы S в мм	Номинальный диаметр резьбы d в мм	Поля					
		4h			6h		
		верх- нее	нижнее		верх- нее	нижнее	
		d, d_1, d_2	d	d_2	d, d_1, d_2	d	d_1
0,2	От 1,0 до 1,4	0	—36	—30	0	—56	—48
	Св. 1,4 » 2,8			—32			—50
0,25	От 1,0 до 1,4			—34		—67	—53
	» 1,4 » 2,8			—36			—56
0,3	От 1,0 до 1,4			—36		—75	—56
0,35	Св. 1,4 до 2,8			—40		—85	—63
	» 2,8 » 5,6			—42			—67
0,4	Св. 1,4 до 2,8			—42		—95	—67
0,45	Св. 1,4 до 2,8			—45		—100	—71
0,5	Св. 2,8 до 5,6			—48		—106	—75
	» 5,6 » 11,2			—53			—85
	» 11,2 » 22,4			—56			—90
0,6	Св. 2,8 до 5,6			—53		—125	—85
0,7	Св. 2,8 до 5,6			—56		—140	—90
0,75	Св. 2,8 до 5,6			—56		—140	—90
	» 5,6 » 11,2			—63			—100
	» 11,2 » 22,4			—67			—106
	» 22,4 » 45,0			—71			—112
0,8	Св. 2,8 до 5,6			—60		—150	—95
1,0	Св. 5,6 до 11,2			—71		—180	—112
	» 11,2 » 22,4			—75			—118
	» 22,4 » 45,0			—80			—125
	» 45,0 » 90,0			—90			—140

болтов в мм (по ГОСТ 16093—70)

ТАБЛИЦА 1.54

допусков								
6g			6e			6d		
верхнее	нижнее		верхнее	нижнее		верхнее	нижнее	
d, d_1, d_2	d	d_2	d, d_1, d_2	d	\bar{d}_2	d, d_1, d_2	d	d_2
—17	—73	—65	—	—	—	—	—	—
		—67			—			—
—18	—85	—71	—	—	—	—	—	—
		—74			—			—
—18	—93	—74	—	—	—	—	—	—
—19	—104	—82	—	—	—	—	—	—
		—86			—			—
—19	—114	—86	—	—	—	—	—	—
—20	—120	—91	—	—	—	—	—	—
—20	—126	—95	—50	—156	—125	—	—	—
		—105			—135			—
		—110			—140			—
—21	—146	—106	—53	—178	—138	—	—	—
—22	—162	—112	—56	—196	—146	—	—	—
—22	—162	—112	—56	—196	—146	—	—	—
		—122			—156			—
		—128			—162			—
		—134			—168			—
—24	—174	—119	—60	—210	—156	—	—	—
—26	—206	—138	—60	—240	—172	—90	—270	—202
		—144			—178			—208
		—151			—185			—215
		—166			—200			—230

Шаг резьбы S в мм	Номинальный диаметр резьбы d в мм	Поля					
		4 <i>h</i>			6 <i>h</i>		
		верх- нее	нижнее		верх- нее	нижнее	
		$d, d_1,$ d_2	d	d_2	$d, d_1,$ d_2	d	d_2
1,25	Св. 5,6 до 11,2 » 11,2 » 22,4	0	—132	—75 —85	0	—212	—118 —132
1,5	Св. 5,6 до 11,2 » 11,2 » 22,4 » 22,4 » 45,0 » 45,0 » 90,0 » 90,0 » 180,0		—150	—85 —90 —95 —100 —106		—236	—132 —140 —150 —160 —170
1,75	Св. 11,2 до 22,4		—170	—95		—265	—150
2,0	Св. 11,2 до 22,4 » 22,4 » 45,0 » 45,0 » 90,0 » 90,0 » 180,0		—180	—100 —106 —112 —118		—280	—160 —170 —180 —190
2,5	Св. 11,2 до 22,4		—212	—106		—335	—170
3,0	Св. 22,4 до 45,0 » 45,0 » 90,0 » 90,0 » 180,0		—236	—125 —132 —140		—375	—200 —212 —224
3,5	Св. 22,4 до 45,0		—265	—132		—425	—212
4,0	Св. 22,4 до 45,0 » 45,0 » 90,0 » 90,0 » 180,0		—300	—140 —150 —160		—475	—224 —236 —250

Продолжение табл. 1.54

допусков								
6g			6e			6d		
верхнее	нижнее		верхнее	нижнее		верхнее	нижнее	
d, d_1, d_2	d	d_2	d, d_1, d_2	d	d_2	d, d_1, d_2	d	d_2
—28	—240	—146 —160	—63	—275	—181 —195	—95	—307	—213 —227
—32	—268	—164 —172 —182 —192 —202	—67	—303	—199 —207 —217 —227 —237	—95	—331	—227 —235 —245 —255 —265
—34	—299	—184	—71	—336	—221	—100	—365	—250
—38	—318	—198 —208 —218 —228	—71	—351	—231 —241 —251 —261	—100	—380	—260 —270 —280 —290
—42	—377	—212	—80	—415	—250	—106	—441	—276
—48	—423	—248 —260 —272	—85	—460	—285 —297 —309	—112	—487	—312 —324 —336
—53	—478	—265	—90	—515	—302	—118	—543	—330
—60	—535	—284 —296 —310	—95	—570	—319 —331 —345	—125	—600	—349 —361 —375

Предельные отклонения диаметров резьбы

Шаг резьбы S в мм	Номинальный диаметр резьбы d в мм	Поля					
		7h6h			7g6g		
		верх- нее		нижнее	верх- нее		нижнее
		d, d_1, d_2	d		d, d_1, d_2	d	
0,2	От 1,0 до 1,4 » 1,4 » 2,8	(0)	(-56)	$\frac{(-60)}{(-63)}$	(-17)	(-73)	$\frac{(-77)}{(-80)}$
0,25	От 1,0 до 1,4 » 1,4 » 2,8		(-67)	$\frac{(-67)}{(-71)}$	(-18)	(-85)	$\frac{(-85)}{(-89)}$
0,3	От 1,0 до 1,4		(-75)	(-71)	(-18)	(-93)	(-89)
0,35	Св. 1,4 до 2,8 » 2,8 » 5,6	0	-85	$\frac{-80}{-85}$	-19	-104	$\frac{-99}{-104}$
0,4	Св. 1,4 до 2,8		-95	-85	-19	-114	-104
0,45	Св. 1,4 до 2,8		-100	-90	-20	-120	-110
0,5	Св. 2,8 до 5,6 » 5,6 » 11,2 » 11,2 » 22,4		-106	$\frac{-95}{-106}$ -112	-20	-126	$\frac{-115}{-126}$ -132
0,6	Св. 2,8 до 5,6		-125	-106	-21	-146	-127
0,7	Св. 2,8 до 5,6		-140	-112	-22	-162	-134
0,75	Св. 2,8 до 5,6 » 5,6 » 11,2 » 11,2 » 22,4 » 22,4 » 45,0		-140	$\frac{-112}{-125}$ -132 -140	-22	-162	$\frac{-134}{-147}$ -154 -162
0,8	Св. 2,8 до 5,6		-150	-118	-24	-174	-142
1,0	Св. 5,6 до 11,2 » 11,2 » 22,4 » 22,4 » 45,0 » 45,0 » 90,0		-180	$\frac{-140}{-150}$ -160 -160	-26	-260	$\frac{-166}{-176}$ -186 -206

болтов в мм (по ГОСТ 16093—70)

ТАБЛИЦА 1.55

допусков								
7e6e			8h (для $S \geq 0,8$), 8h6h (для $S < 0,8$)			8g		
верхнее	нижнее		верх- нее	нижнее		верх- нее	нижнее	
d, d_1, d_2	d	d_2	d, d_1, d_2	d	d_2	d, d_1, d_2	d	d_2
—	—	—	(0)	(—56)	(—75) (—80)	—	—	—
—	—	—		(—67)	(—85) (—90)	—	—	—
—	—	—		(—75)	(—90)	—	—	—
—	—	—		(—85)	(—100) (—106)	—	—	—
—	—	—		(—95)	(—106)	—	—	—
—	—	—		(—100)	(—112)	—	—	—
—50	—156	—145 —156 —162		(—106)	(—118) (—132) (—140)	—	—	—
—53	—178	—159		(—125)	(—132)	—	—	—
—56	—196	—168		(—140)	(—140)	—	—	—
—56	—196	—168 —181 —188 —196		(—140)	(—140) (—160) (—170) (—180)	—	—	—
—60	—210	—178	0	—236	—150	—24	—260	—174
—60	—240	—200 —210 —220 —240		—280	—180 —190 —200 —224	—26	—306	—206 —216 —226 —250

Шаг резьбы S в мм	Номинальный диаметр резьбы d в мм	Поля							
		7h6h			7g6g				
		верх- нее	нижнее		верх- нее	нижнее			
			d, d ₁ , d ₂	d		d ₂	d, d ₁ , d ₂	d	d ₂
1,25	Св. 5,6 до 11,2 » 11,2 » 22,4	0	-212	-150 -170	-28	-240	-178 -198		
1,5	Св. 5,6 до 11,2 » 11,2 » 22,4 » 22,4 » 45,0 » 45,0 » 90,0 » 90,0 » 180,0		-236	-170 -180 -190 -200 -212	-32	-268	-202 -212 -222 -232 -244		
	1,75		Св. 11,2 до 22,4	-265	-190	-34	-299	-224	
	2,0		Св. 11,2 до 22,4 » 22,4 » 45,0 » 45,0 » 90,0 » 90,0 » 180,0	-280	-200 -212 -224 -236	-38	-318	-238 -250 -262 -274	
			2,5	Св. 11,2 до 22,4	-335	-212	-42	-377	-254
			3,0	Св. 22,4 до 45,0 » 45,0 » 90,0 » 90,0 » 180,0	-375	-250 -265 -280	-48	-423	-298 -313 -328
3,5				Св. 22,4 до 45,0	-425	-265	-53	-478	-318
4,0	Св. 22,4 до 45,0 » 45,0 » 90,0 » 90,0 » 180,0			-475	-280 -300 315	-60	-535	-340 -360 375	

Продолжение табл. 1. 55

допусков								
7е6е			8h (для $S \geq 0,8$), 8h6h (для $S < 0,8$)			8g		
верхнее	нижнее		верх- нее	нижнее		верх- нее	нижнее	
d, d_1, d_2	d	d_1	d, d_1, d_2	d	d_1	d, d_1, d_2	d	d_1
—63	—275	—213	0	—335	—190	—28	—363	—218
		—233			—212			—240
—67	—303	—237		—375	—212	—32	—407	—244
		—247			—224			—256
		—257			—236			—268
		—267			—250			—282
		—279			—265			—297
—71	—336	—261		—425	—236	—34	—459	—270
—71	—351	—271		—450	—250	—38	—468	—288
		—283			—265			—303
		—295			—280			—318
		—307			—300			—338
—80	—415	—292		—530	—265	—42	—572	—307
—85	—460	—335		—600	—315	—48	—648	—363
		—350			—335			—383
		—365			—355			—403
—90	—515	—355		—670	—335	—53	—723	—388
—95	—570	—375		—750	—355	—60	—810	—415
		—395			—375			—435
		—410			—400			—460

Предельные отклонения диаметров резьбы

Шаг S в мм	Номинальный диаметр резьбы d в мм	Поля						
		4H5H			5H6H			ниж- нее
		ниж- нее	верхнее		ниж- нее	верхнее		
			d, d_1, d_2	d_2		d_1	d, d_1, d_2	
0,2	От 1,0 до 1,4	0	+40	+48	0	+50	+60	0
	+42		+53					
0,25	От 1,0 до 1,4		+45	+56		+56	+71	
	Св. 1,4 » 2,8		+48			+60		
0,3	От 1,0 до 1,4		+48	+67		+60	+85	
0,35	Св. 1,4 до 2,8		+53	+80		+67	+100	
	» 2,8 » 5,6		+56			+71		
0,4	Св. 1,4 до 2,8		+56	+90		+71	+112	
0,45	Св. 1,4 до 2,8		+60	+100		+75	+125	
0,5	Св. 2,8 до 5,6		+63	+112		+80	+140	
	» 5,6 » 11,2		+71			+90		
	» 11,2 » 22,4		+75			+95		
0,6	Св. 2,8 до 5,6		+71	+125		+90	+160	
0,7	Св. 2,8 до 5,6		+75	+140		+95	+180	
0,75	Св. 2,8 до 5,6		+75	+150		+95	+190	
	» 5,6 » 11,2		+85			+106		
	» 11,2 » 22,4		+90			+112		
	» 22,4 » 45,0		+95			+118		
0,8	Св. 2,8 до 5,6		+80	+160		+100	+200	
1,0	Св. 5,6 до 11,2		+95	+190		+118	+236	
	» 11,2 » 22,4		+100			+125		
	» 22,4 » 45,0		+106			+132		
	» 45,0 » 90,0		+118			+150		

ТАБЛИЦА 1.56

гаек в мм (по ГОСТ 16093—70)

допусков										
6H		6G			7H			7G		
верхнее		ниж- нее	верхнее		ниж- нее	верхнее		ниж- нее	верхнее	
d_2	d_1	d, d_1, d_2	d_2	d_1	d, d_1, d_2	d_2	d_1	d, d_1, d_2	d_2	d_1
+63	+60	+17	+80	+77	—	—	—	—	—	—
+67			+84			—			—	
+71	+71	+18	+89	+89	—	—	—	—	—	—
+75			+93			—			—	
+75	+85	+18	+93	+103	—	—	—	—	—	—
+85	+100	+19	+104	+119	—	—	—	—	—	—
+90			+109			—			—	
+90	+112	+19	+109	+131	—	—	—	—	—	—
+95	+125	+20	+115	+145	—	—	—	—	—	—
+100	+140	+20	+120	+160	0	+125	+180	+20	+145	+200
+112			+132			+140			+160	
+118			+138			+150			+170	
+112	+160	+21	+133	+181		+140	+200	+21	+161	+221
+118	+180	+22	+140	+202		+150	+224	+22	+172	+246
+118	+190	+22	+140	+212		+150	+236	+22	+172	+258
+132			+154			+170			+192	
+140			+162			+180			+202	
+150			+172			+190			+212	
+125	+200	+24	+149	+224		+160	+250	+24	+184	+274
+150	+236	+26	+176	+262		+180	+300	+26	+216	+326
+160			+186			+200			+226	
+170			+196			+212			+238	
+190			+216			+236			+262	

Шар S в мм	Номинальный диаметр резьбы d в мм	Поля					
		4H5H			5H6H		
		ниж- нее	верхнее		ниж- нее	верхнее	
		d, d_1, d_2	d_2	d_1	d, d_1, d_2	d_2	d_1
1,25	Св. 5,6 до 11,2		+100	+212		+125	+265
	» 11,2 » 22,4		+112			+140	
1,5	Св. 5,6 до 11,2		+112	+236		+140	+300
	» 11,2 » 22,4		+118			+150	
	» 22,4 » 45,0		+125			+160	
	» 45,0 » 90,0		+132			+170	
	» 90,0 » 180,0		+140			+180	
1,75	Св. 11,2 до 22,4		+125	+265		+160	+335
2,0	Св. 11,2 до 22,4	0	+132	+300	0	+170	+375
	» 22,4 » 45,0		+140			+180	
	» 45,0 » 90,0		+150			+190	
	» 90,0 » 180,0		+160			+200	
2,5	Св. 11,2 до 22,4		+140	+355		+180	+450
3,0	Св. 22,4 до 45,0		+170	+400		+212	+500
	» 45,0 » 90,0		+180			+224	
	» 90,0 » 180,0		+190			+236	
3,5	Св. 22,4 до 45,0		+180	+450		+224	+560
4,0	Св. 22,4 до 45,0		+190	+475		+236	+600
	» 45,0 » 90,0		+200			+250	
	» 90,0 » 180,0		+212			+265	

Продолжение табл. 1.56

допусков											
6H		6G			7H			7G			
верхнее		ниж- нее	верхнее		ниж- нее	верхнее		ниж- нее	верхнее		
d_2	d_1		d, d_1, d_2	d_2		d_1	d, d_1, d_2		d_2	d_1	
+160	+265	+28	+188	+293	0	+200	+335	+28	+228	+363	
+180			+208			+224			+252		
+180	+300	+32	+212	+332	0	+224	+375	+32	+256	+407	
+190			+222			+236			+268		
+200			+232			+250			+282		
+212			+244			+265			+297		
+224			+256			+280			+312		
+200	+335	+34	+234	+369	0	+250	+425	+34	+284	+459	
+212	+375	+38	+250	+413		+265	+475	+38	+303	+513	
+224			+262			+280			+318		
+236			+274			+300			+338		
+250			+288			+315			+353		
+224	+450	+42	+266	+492	0	+280	+560	+42	+322	+602	
+265	+500	+48	+313	+548		+335	+630	+48	+383	+678	
+280			+328			+355			+403		
+300			+348			+375			+423		
+280	+560	+53	+333	+613		0	+355	+710	+53	+408	+763
+300	+600	+60	+360	+660			+375	+750	+60	+435	+810
+315			+375				+400			+460	
+335			+395			+425			+485		

*

Допуски среднего диаметра резьбы являются суммарными и ограничивают сумму отклонений собственно среднего диаметра, шага и половины угла профиля резьбы¹.

Верхнее отклонение внутреннего диаметра резьбы болта контролируют проходным резьбовым калибром-кольцом с плоским срезом профиля резьбы на расстоянии $\frac{H}{4}$ от вершины остроугольного про-

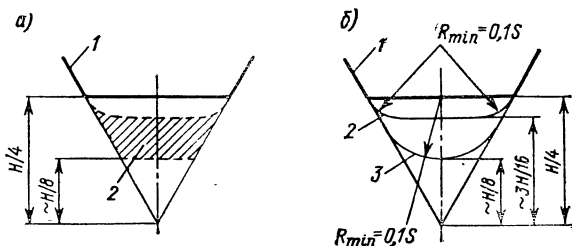


Рис. 1.21

а) 1 — номинальный профиль; 2 — зона, в которой рекомендуется располагать впадину болта; б) 1 — номинальный профиль; 2 — верхний предельный профиль; 3 — нижний предельный профиль

филя. Нижнее отклонение внутреннего диаметра болта не устанавливается, но косвенно ограничивается формой впадины болта.

При неогovorенной форме впадины резьбы болта рекомендуется, чтобы впадина не выходила за линию плоского среза на расстоянии $\frac{H}{8}$ от вершины остроугольного профиля (рис. 1.21, а).

¹ Дифференцированные допуски на собственно средний диаметр, угол и шаг резьбы стандартом не установлены; заданный суммарный допуск на средний диаметр предназначен для компенсации отклонений собственно среднего диаметра (f_d), отклонений половины угла профиля (f_α) и отклонений шага (f_s);

$$b = f_d + f_\alpha + f_s.$$

Для метрических резьб

$$f_\alpha = 0,36S \Delta \frac{\alpha}{2}; \quad f_s = 1,73 \Delta S,$$

где S — номинальный шаг в мм; $\Delta \frac{\alpha}{2}$ — отклонение половины угла профиля в минутах; ΔS — отклонение шага в пределах длины свинчивания в мкм; f_α и f_s в мкм.

Для обеспечения требуемого характера свинчиваемости резьбы необходимо, чтобы ее приведенный средний диаметр ($D_{прив}$) не выходил за начало поля допуска b вовне (при скользящей резьбе за номинальный размер среднего диаметра):

$$D_{прив} = d_2 \pm (f_\alpha + f_s).$$

Здесь d_2 — средний диаметр резьбы (собственный, например измеренный методом трех проволочек); знак + (плюс) относится к наружной резьбе, знак — (минус) к внутренней.

При оговоренной закругленной впадине резьбы болта радиус кривизны впадины ни в одной из точек не должен быть менее 0,1S (рис. 1.21, б).

Нижнее отклонение наружного диаметра резьбы гайки контролируют проходным резьбовым калибром-пробкой с плоским срезом профиля резьбы на расстоянии $\frac{H}{8}$ от вершины остроугольного профиля. Верхнее отклонение наружного диаметра гайки не устанавливается.

При применении резьб с защитными покрытиями предельные отклонения резьб до нанесения покрытия должны соответствовать ГОСТ 16093—70, если применяемые толщины покрытий не требуют больших величин основных отклонений.

Если заданы предельные отклонения размеров резьб до нанесения покрытия и не сделано других оговорок, то размеры резьбы после нанесения покрытия не должны выходить за пределы, определяемые номинальным профилем резьбы и соответствующие основным отклонениям h , H .

Замена допусков резьб по ранее действовавшим стандартам (ГОСТ 9253—59 и ГОСТ 10191—62) допусками по ГОСТ 16093—70. Замену допусков резьб в ранее разработанной технической документации рекомендуется производить в соответствии с табл. 1.57.

ТАБЛИЦА 1.57

Замена полей допусков резьб по рекомендации приложения
ГОСТ 16093—70

Болты		Гайки	
Поле допуска по ранее действовавшим стандартам	Поле допуска по ГОСТ 16093—70	Поле допуска по ранее действовавшим стандартам	Поле допуска по ГОСТ 16093—70
Кл. 1 Кл. 2 Кл. 2а Кл. 3	$4h$ $6g$ $6g$ $8g$	Кл. 1 Кл. 2 Кл. 2а Кл. 3	$4H5H$ $6H$ $6H$ $7H$
Кл. 2аД Кл. 3Л	$6g$ $6e$	Кл. 3Х	$6G$

При заменах, указанных в табл. 1.57, обозначения допусков резьб по ГОСТ 9253—59 и ГОСТ 10191—62 могут быть сохранены в технической документации или дополнены обозначениями по ГОСТ 16093—70.

В тех случаях, когда для ранее установленных допусков резьб требуются замены, отличающиеся от указанных в табл. 1.57, в технической документации должны быть приведены обозначения соответствующих полей допусков по ГОСТ 16093—70.

Допуски метрических резьб с натягами (по ГОСТ 4608—65). Стандартом предусматривается образование резьбовых соединений с натягами по среднему диаметру резьбы (без участия сбега резьбы).

Посадки, устанавливаемые стандартом, предназначены для шпилек (наружных резьб) из сталей, сопрягаемых гнездами (внутренними резьбами) в деталях из указанных ниже материалов при заданной длине свинчивания.

	Длина свинчивания
Стали и титановые сплавы	1—1,25 <i>d</i>
Чугун	1,25—1,5 <i>d</i>
Алюминиевые и магниевые сплавы	1,5—2 <i>d</i>

Номинальный профиль резьбы (по ГОСТ 9150—59 — утолщенная линия) и поля допусков показаны на рис. 1.22.

Для резьб с натягами устанавливаются посадки, обозначенные на рис. 1.23. Здесь же показана схема расположения полей допусков среднего диаметра.

В обозначениях посадок буква *A* обозначает резьбу гнезда, буква *T* — резьбу шпильки, цифровой индекс (0 или 1) — класс точности резьбы, последняя цифра (2 или 3) — число сортировочных групп при методе групповой взаимозаменяемости.

Для получения натяга по среднему диаметру подбираются резьбы гнезда и шпильки одноименных групп.

Сортировка резьб на группы производится по собственно среднему диаметру в средней части длины резьбы.

Стандартом предусматриваются величины допусков на отклонения формы по среднему диаметру (конусообразность, овальность и др.), а также допускаемые отклонения шага и половины угла профиля.

Клеймение групп резьбы шпильки производится на торце конца шпильки под гайку арабскими цифрами или кернением числом кернов, соответствующим номеру группы.

Резьба метрическая на деталях из пластмасс (по ГОСТ 11709—71)

Профиль резьбы показан на рис. 1.24. На выступах резьбы болта и гайки допускаются закругления кромок радиусом r_1 не более $H/16$. Диаметры и шаги резьб принимаются по ГОСТ 8724—58, причем для диаметров резьб св. 16, 18 и 36 мм не рекомендуются соответственно шаги 0,5, 0,75 и 1 мм. Основные размеры резьб принимаются по ГОСТ 9150—59.

Для деталей из пластмасс, а также для деталей из металла, соединяемых с ними, с резьбами диаметров от 3 до 8 мм допускается применение устанавливаемых стандартом особо крупных шагов от 0,8 до 1,5 мм соответственно.

Классификация резьб по длинам свинчивания принимается по ГОСТ 16093—70, а для резьб с особо крупными шагами в ГОСТ 11709—71 приводятся дополнительные значения длин свинчивания для групп *S*, *N* и *L*.

Расположение полей допусков болтов и гаек должно соответствовать рис. 1.19 и 1.20, причем для болтов установлены только основные отклонения h и g , для гаек H и G .

Для резьб на деталях из пластмасс установлены степени точности среднего диаметра болта 6, 7, 8, 9, 10, наружного диаметра болта — 6, 8, среднего диаметра гайки — 6, 7, 8, 9, внутреннего диаметра гайки — 6, 7, 8. Сочетания полей допусков диаметров резьбы определяются тремя классами точности: средний, грубый и очень грубый.

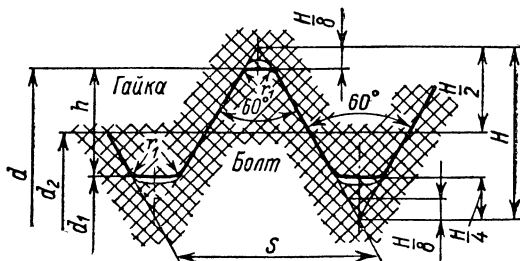


Рис. 1.24

Предельные отклонения диаметров резьб на деталях из пластмасс поля допусков которых соответствуют ГОСТ 16093—70 (например, $6h$, $6g$, $6H$, $6G$, $7h6h$ и т. п.), принимаются по этому стандарту. Предельные отклонения диаметров резьб, поля допусков которых предназначены только для деталей из пластмасс (например, $10h8h$, $9h8h$, $8H$, $8G$ и т. п.), а также предельные отклонения полей допусков резьб с особо крупными шагами даны в ГОСТ 11709—61.

Предельные отклонения резьб на деталях из пластмасс относятся к температуре $+20^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха 65%. Контроль деталей, изготовленных литьем под давлением и прессованием, должен производиться не ранее чем через 12 ч после изготовления.

Допуски метрических резьб по ранее действовавшим ГОСТ 9253—59 и ГОСТ 10191—62¹

В действовавшем (до 1/1 1974 г.) ГОСТ 9253—59 установлена скользящая посадка (рис. 1.25, а) и классы точности 1, 2 и 3 для резьб с крупными и мелкими шагами и дополнительно класс 2а для резьб с мелкими шагами¹.

ГОСТ 10191—62 «Метрическая резьба с зазорами. Допуски» предусматривал для диаметров резьбы болта три нормы верхних отклонений от номинального профиля (рис. 1.25, б), обозначаемые буквами D

¹ Более подробно содержание ГОСТ 9253—59 и 10191—62, а также численные величины отклонений диаметров резьбы см. Справочник по производству контролю в машиностроении, изд. 2-е, 1964, с. 102—114.

Для метрической резьбы ($\alpha = 60^\circ$) $q_2 = 2q$.

Общее увеличение среднего диаметра Q_2 после нанесения покрытия составит

$$Q_2 = d_2^{\text{п}} - d_2 = 2q_2 = 4q.$$

При нанесении покрытия на резьбу гайки средний диаметр последней уменьшится на эту же величину. Размеры наружного и внутреннего диаметров при равномерном покрытии резьбы изменяются на величину $2q$.

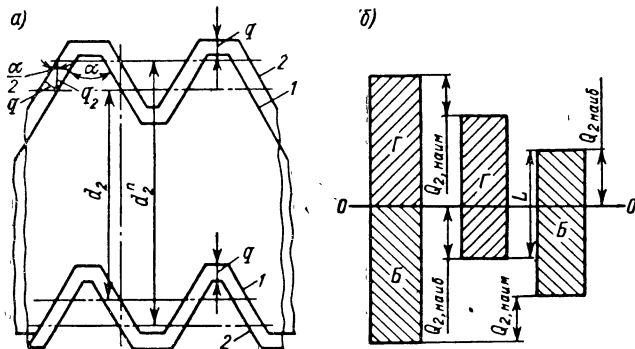


Рис. 1.26

При нанесении покрытия имеет место рассеивание толщины слоя покрытия q в массе покрываемых деталей. При этом начальная граница поля допуска среднего диаметра болта B и гайки Γ может сместиться на $Q_{2, \text{наиб}}$ — учетверенную наибольшую допустимую величину слоя (рис. 1.26, б), а конечная граница — на $Q_{2, \text{наим}}$ — учетверенную наименьшую необходимую величину слоя покрытия. Начальные и конечные границы полей допусков наружного диаметра болта и внутреннего диаметра гайки сместятся после покрытия на величины, соответствующие удвоенной толщине покрытия. Величина L определяет наибольший теоретически возможный натяг при свинчивании болта с гайкой.

Для введения единообразия в применяемые толщины покрытия ГОСТ 9791—68 устанавливает следующий ряд значений толщин (в мкм) 1; 3; 6; 9; 12; 15; 18; 21; 24; 30; 36; 42; 48; 60. Эти толщины, за исключением самых больших, могут потребоваться и для резьбовых деталей. Указанный ряд определяет минимальные значения толщин, причем для каждого из них максимальным является значение, следующее через одну величину; этим определяется допуск на толщину покрытия.

Введение в ГОСТ 16093—70 резьб с зазорами путем установления резьб с основными отклонениями g , e , d для болтов и G для гаек имеет в значительной мере целью обеспечение взаимозаменяемости резьб в защитных покрытиях, среди которых преобладают гальванические покрытия. Для обеспечения свинчиваемости покрытых резьб размеры

метрических резьб общего назначения не должны выходить после нанесения покрытия за пределы, определяемые номинальным профилем резьбы и соответствующие основным отклонениям h , H .

На выбор величины основного отклонения резьбы под покрытие влияет значительное число факторов; важнейшие из них: величина допуска на средний диаметр резьбы (b); толщина слоя покрытия (q) и рассеяние толщины слоя в массе покрываемых деталей v (q). Знание этих факторов позволяет определить ориентировочно, вероятностным методом, величину основного отклонения (b')

$$b' \approx 4q + 2v(q) + \frac{z}{6} \sqrt{b^2 + 16v^2(q)} - 0,5b. \quad (1.17)$$

Для определения b' необходимо задаться величиной W — допустимым процентом покрытых резьбовых деталей, несвинчивающихся с проходными калибрами для основных отклонений h , H . По заданному W определяется $\Phi(z)$, причем

$$\Phi(z) \approx 0,5 - W.$$

Зная $\Phi(z)$, можно по таблице интеграла вероятностей нормального распределения определить значение z .

Выбор величины W зависит от соотношения между величиной несвинчиваемости деталей с проходными калибрами и их несвинчиваемостью между собой. То, что несвинчиваемость покрытых деталей друг с другом меньше несвинчиваемости их с проходными калибрами h , H , позволяет допускать известный процент W деталей, несвинчивающихся с этими калибрами. Значение $W = 0,135\%$ можно считать практически полным свинчиванием массы покрытых деталей с проходными калибрами. Выбор значения W зависит в значительной мере от того, изготовляет ли предприятие резьбовые детали для собственного потребления или является специализированным изготовителем крепежных деталей; применяются ли резьбовые детали как запасные части; является ли сборка, в которой участвуют резьбовые детали, серийной, массовой, конвейерной; применяется ли механическое завинчивание резьбы и т. д.

Полученное расчетом значение b' определяет ближайшее значение основного отклонения ГОСТ 16093—70, которое может быть принято.

Вопрос обеспечения свинчиваемости резьб с защитными покрытиями усложняется из-за неравномерности слоя покрытия в пределах профиля резьбы отдельной нитки и в пределах различных участков отдельной резьбовой детали.

Распределение покрытия по профилю отдельной нитки резьбы варьирует в больших пределах и зависит в значительной мере от материала покрытия и технологии процесса покрытия. При гальванических покрытиях наибольшая толщина слоя получается на выступах резьбы, наименьшая во впадинах, вследствие чего угол профиля заостряется. В значительном числе случаев соотношения между толщинами слоев выступов резьбы (q), боковых сторон (q_2) и впадин (q_1) находятся в следующих пределах:

$$q : q_2 : q_1 = 1 : (0,75 \div 0,65) : (0,5 \div 0,3).$$

Большая неравномерность толщины слоя наблюдается на разных участках резьбовой детали — на головке винта, его гладкой части и резьбовой; наибольшая толщина покрытия во многих случаях имеет

место на первых входных нитках резьбы. Во многих случаях толщина покрытия должна соблюдаться на головке винта, где она и проверяется. При выборе основного отклонения следует для обеспечения свинчиваемости резьбовых деталей исходить из реальной толщины покрытия на резьбовой части детали. В случаях необходимости следует изучить распределение толщины покрытия на резьбовой детали для данных конкретных условий.

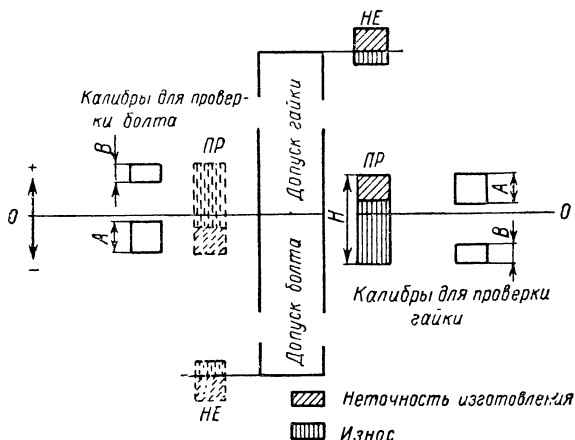


Рис. 1.27

При относительно малых толщинах покрытия свинчиваемость покрытых резьбовых деталей, изготавливаемых под покрытие по скользящей посадке, может быть достигнута в ряде случаев применением при изготовлении резьб под покрытие проходных резьбовых калибров, у которых отклонения находятся у начал полей допусков новых калибров в пределах некоторого поля A (рис. 1.27). Для контроля покрытых деталей применяют проходные калибры, у которых отклонения находятся у концов полей допусков износа в пределах некоторого поля B . Величины A и B определяются по техническим и экономическим соображениям и ими ограничена допустимая толщина покрытия, при которой свинчиваемость покрытых деталей обеспечивается.

9. ЗУБЧАТЫЕ ЗАЦЕПЛЕНИЯ

Общие сведения

Зубчатые передачи делятся на цилиндрические, конические, винтовые, гипонидные, червячные и спироидные (ГОСТ 16530—70).

Цилиндрические зубчатые колеса могут выполняться с зубьями различной формы: прямыми (рис. 1.28, а), косыми (рис. 1.28, б), шевронными с дорожкой (рис. 1.28, в) и шевронными непрерывными

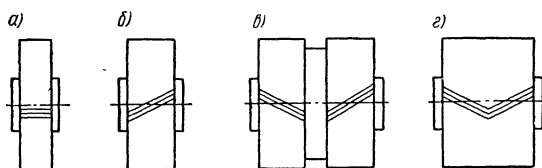


Рис. 1.28

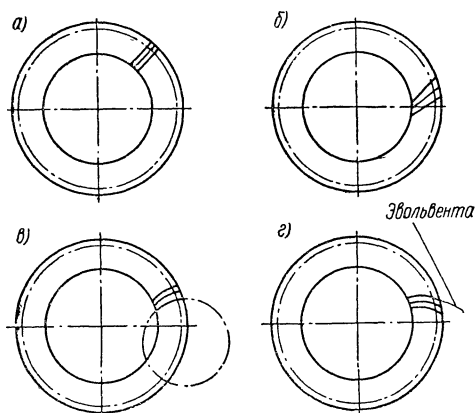


Рис. 1.29

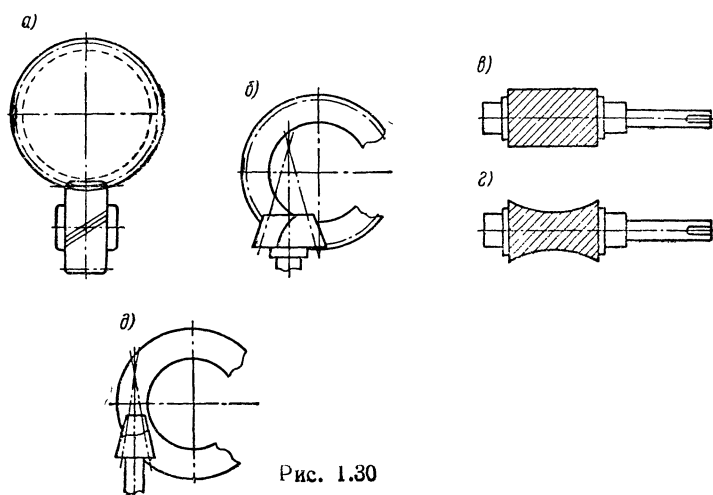


Рис. 1.30

(рис. 1.28, *г*) зубьями. Колеса могут выполняться с внешними или внутренними зубьями.

Конические зубчатые колеса могут выполняться с зубьями: прямыми (рис. 1.29, *а*), тангенциальными (рис. 1.29, *б*), круговыми (рис. 1.29, *в*), с эвольвентной линией зубьев (рис. 1.29, *г*), с циклоидальной линией зубьев.

Между скрещивающимися валами применяются: винтовая цилиндрическая передача (рис. 1.30, *а*), состоящая из двух косозубых цилиндрических колес; гипоидная коническая передача (рис. 1.30, *б*), состоящая из двух непрямоугольных конических колес; червячная передача, образуемая из червяка и колеса с цилиндрическим (рис. 1.30, *в*) или глобоидным (рис. 1.30, *г*) червяком и спироидная передача (рис. 1.30, *д*), которая состоит из шестерни и колеса с коническими начальными поверхностями, причем шестерня имеет винтовые зубья.

Основные параметры зубчатых колес и передач

Форма и размеры зубьев семейства сопряженных зубчатых колес определяются парой исходных колес. Для цилиндрических колес используется общий исходный контур в виде зубчатой рейки; для конических колес используется общий производящий контур зубьев плоского колеса. При отсутствии общего исходного колеса один из элемен-

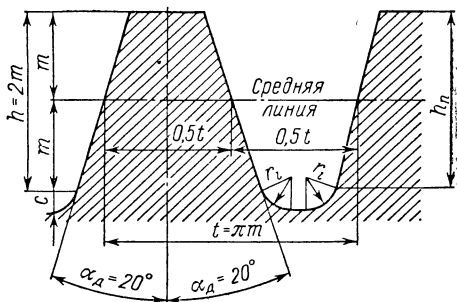


Рис. 1.31

тов передачи (например, червячное колесо) образуется инструментом, выполненным по контуру парного с ним элемента передачи (червяка).

Исходный контур (рис. 1.31) — контур зубьев рейки или колеса, определяющие форму и номинальные размеры зубьев нарезаемых цилиндрических и конических колес в результате обкатки их при номинальном положении производящей рейки или колеса относительно заготовки. Основные параметры исходного контура должны соответствовать указанным на рис. 1.31 и в табл. 1.58.

Исходный контур определяет контур зубьев рейки или колеса в сечении, нормальном к направлению зубьев, и не относится к червячным и гипоидным передачам.

Исходный контур для цилиндрических колес с модулем более 1 предусматривает срез кромок вершин зубьев у колес внешнего зацепле-

ТАБЛИЦА 1.58
Параметры исходных контуров зубчатых колес

Наименование параметра	Обозначения	ГОСТ 9587—68		ГОСТ 13755—68	ГОСТ 13754—68
		Цилиндрические колеса $m \leq 1$	Конические колеса $m \leq 1$	Цилиндрические колеса $m > 1$	Конические колеса $m > 1$
Угол профиля	α	20°	20°	20°	20°
Глубина захода	h_b	2m	2m	2m	2m
Прямолинейный профиль в пределах глубины	h_n	$\geq 2,1m$	$\geq 2,1m$	2m	2m
Толщина зуба по средней линии	S	0,5p	$\geq 0,5p$	0,5p	0,5p
Радиальный зазор	c	0,35m *	0,25m *	0,25m	0,20m
Радиус закругления у корня зуба	r_i	$\leq 0,2m$ **	$\leq 0,1m$ **	$\geq 0,40m$	$\geq 0,20m$
Высота среза	h_g	$\leq 0,15m$	$\leq 0,15m$	0,45m	0
Коэффициент глубины среза	a_g	$\leq 0,02m$	$\leq 0,02m$	(0,005 до 0,02) m ***	—

Примечания: * — при обработке цилиндрических колес долбяками и шеверами допускается увеличение до 0,45m при $m \leq 1$ и до 0,35 при $|m| > 1$; ** — допускается увеличение закругления, если это не нарушает правильности зацепления в передаче, до 0,3m для цилиндрических и до 0,2m для конических колес; *** — коэффициент глубины среза устанавливается по табл. 1.60 в зависимости от модуля и степени точности колеса (при комбинировании норм — степень точности, соответствующая предельным отклонениям шага зацепления).

ния для уменьшения дополнительных динамических нагрузок, возникающих при работе зубчатых колес из-за погрешностей изготовления и деформации зубьев. При окружных скоростях, меньших чем указанные в табл. 1.59, допускается изготавливать цилиндрические зубчатые колеса внешнего зацепления без среза вершины зуба.

Зубчатые колеса передач внутреннего зацепления допускается изготавливать с таким же срезом, как и для колес внешнего зацепления.

Срез кромки вершины не должен снижать степень перекрытия ниже значения 1,089 для прямозубых колес и значения 1 — для косозубых колес. Срез не должен также применяться для косозубых колес с углом наклона зубьев более 17°45'.

Коэффициент глубины среза a_g в зависимости от модуля и степени точности должен соответствовать указанному в табл. 1.60. При комбинировании норм разных степеней точности по ГОСТ 1643—72 имеется в виду степень точности, соответствующая предельным отклонениям шага зацепления.

Исходный контур передач Новиков регламентируется ГОСТ 15023—69. Исходный контур конических передач с круговым зубом приведен в ГОСТ 16202—70.

ТАБЛИЦА 1.59

Окружности скорости колес с $m > 1$ по ГОСТ 13755—68, выше которых должен применяться исходный контур со срезом

Тип колес	Степень точности колеса		
	6	7	8
	Окружная скорость в м/с		
Прямозубые	10	"	4
Косозубые	16	10	6

ТАБЛИЦА 1.60

Коэффициент глубины среза у исходного контура рейки

Степень точности класса					
6		7		8	
Модуль в мм	a_c	Модуль в мм	a_c	Модуль в мм	a_c
2—2,75	0,01	2—2,5	0,015	2—2,75	0,02
3—4,5	0,008	2,75—3,5	0,012	3—3,5	0,0175
5—10	0,006	3,75—5,0	0,010	3,75—5,0	0,015
Св. 10—16	0,005	5,5—7,0	0,009	5,5—8	0,012
		8—11	0,008	9—16	0,010
		12—20	0,007	18—26	0,009
		22—30	0,006	28—50	0,008

Модуль. Все размеры исходного контура и элементов зацепления зубчатых колес выражают через модуль.

Модуль есть длина в мм, приходящаяся по диаметру делительной окружности $d = 2r$ на один зуб колеса:

$$m = \frac{d}{z} = \frac{2r}{z},$$

или

$$d = 2r = mz,$$

где z — число зубьев колеса.

Численно модуль равен отношению шага p исходной рейки в мм к числу π .

Ряд модулей (в мм), применяемых для цилиндрических и конических колес с любой формой зуба, стандартизован ГОСТ 9563—60 (табл. 1.61), а для червячных передач с цилиндрическим червяком — ГОСТ 19672—74.

ТАБЛИЦА 1.61

Ряды модулей m по ГОСТ 9563-60 и соответствующие им шаги P_n и шаги зацепления P_{bn} при угле исходного контура $\alpha = 20^\circ$ в мм

m	P_n		P_{bn}	m		P_n	P_{bn}	m		P_n	P_{bn}
	1-й ряд	2-й ряд		1-й ряд	2-й ряд			1-й ряд	2-й ряд		
0,05	0,157	0,055	0,148	0,5	0,55	1,571	1,476	5		15,708	14,761
0,06	0,173		0,162	0,6		1,728	1,624	6	5,5	17,279	16,237
0,08	0,188	0,07	0,177	0,7		1,885	1,771	8	7	18,850	17,713
0,1	0,220		0,207	0,8		2,199	2,067	10		21,991	20,665
0,12	0,251	0,09	0,236	1	0,9	2,513	2,362	12	8	25,133	23,617
0,15	0,283		0,266	1,25		2,827	2,657	16	11	28,274	26,569
0,2	0,314	0,11	0,295	1,5	1,125	3,142	2,952	20	13	31,416	29,521
0,25	0,316		0,305	1,75		3,534	3,321	25	16	34,557	32,473
0,3	0,377	0,14	0,354	2	1,375	3,927	3,690	30	18	37,699	35,425
0,4	0,440	0,18	0,413	2,25	1,75	4,319	4,059	40	22	43,982	41,330
0,45	0,471		0,443	2,5	2,25	4,712	4,428	45	25	50,265	47,234
0,5	0,565	0,22	0,531	3	2,75	5,498	5,166	50	28	56,519	53,139
0,6	0,628		0,590	4	3,5	6,283	5,904	60	36	62,832	59,013
0,8	0,691	0,28	0,649	5	4,5	7,069	6,643	70	45	69,115	64,947
1,0	0,785	0,35	0,738	6		7,854	7,380	80		78,540	73,804
1,25	0,880		0,837	8		8,639	8,118	100		87,965	82,660
1,5	0,943	0,45	0,886	10		9,425	8,856	125		100,530	91,468
1,75	1,000		0,933	12		10,211	9,586	150		113,098	106,277
2,0	1,057	0,5	1,033	15		12,566	11,808	180		125,664	118,086
2,25	1,114		1,071	20		14,137	13,285	225		141,371	132,846

Примечания

1. При назначении величин модулей 1-й ряд следует предпочитать 2-му.
2. Кроме модулей, указанных в таблице, допускается применение модулей 3,25; 3,75 и 4,25 для автомобильной промышленности и модуля 6,5 для тракторной промышленности.

Модуль для косозубых и шевронных цилиндрических колес определяется в нормальном сечении колеса. В обоснованных случаях допускается определение модуля в торцевом сечении.

Для конических колес модуль определяется по большему диаметру, а для червячных колес с цилиндрическим червяком — в осевом сечении червяка.

В табл. 1.61 для всего стандартного ряда модулей приведены соответствующие значения окружных шагов, найденные по формуле $p_n = \pi m_n$, и значения шагов зацепления, вычисленные по формуле $p_{bn} = \pi m_n \cos \alpha$ при угле исходного контура $\alpha = 20^\circ$. Указанные значения окружного шага и шага зацепления используются при контроле зубчатых колес.

Модули для передач Новикова приведены в ГОСТ 14186—69.

Основные параметры зубчатых передач и редукторов — межосевое расстояние, коэффициент ширины зубчатых колес, углы наклона зубьев, передаточные числа, диаметры червяков, число заходов и др. определяются стандартами:

ГОСТ 2185—66 — Передачи зубчатые цилиндрические. Основные параметры; ГОСТ 12289—66 — Передачи зубчатые конические. Основные параметры; ГОСТ 2144—66 — Передачи червячные цилиндрические. Основные параметры; ГОСТ 9369—66 — Передачи червячные глобоидные. Основные параметры; ГОСТ 13733—68 — Передачи зубчатые цилиндрические мелко модульные. Основные параметры; ГОСТ 13563—68 — Червячные редукторы. Основные параметры.

Допуски зубчатых и червячных передач

Допуски цилиндрических эвольвентных зубчатых колес и передач внешнего и внутреннего зацеплений приводятся в ГОСТ 9178—72 при модуле 0,1 до 1 мм, делительном диаметре колес до 400 мм (при $m_n \leq 0,5$ мм до 200 мм), для прямозубых и косозубых колес и винтовых передач и в ГОСТ 1643—72 при модуле от 1 до 56 мм, делительном диаметре колес до 6300 мм, межосевом расстоянии до 6300 мм для прямозубых, косозубых и шевронных колес и передач.

Допуски на зубчатые передачи назначаются для обеспечения кинематической точности, плавности работы, контакта зубьев и создания бокового зазора, превышающего наименьший допустимый (гарантированный) зазор, с целью предупреждения возможности заклинивания зубьев и для ограничения наибольшего бокового зазора во избежание чрезмерных мертвых ходов в передаче.

В зависимости от условий эксплуатации передачи изменяется значимость каждого из четырех перечисленных показателей точности.

В стандартах допусков устанавливаются отдельные нормы кинематической точности колеса, плавности работы колеса, контакта зубьев и боковых зазоров для различных степеней точности зубчатых колес и передач. Установлено двенадцать степеней точности зубчатых колес и передач, обозначаемых в порядке убывания точности степенями от 1 до 12. Для наиболее высоких точностей (степеней 1, 2 и 3 для модуля менее 1 мм и степеней 1, 2 для модулей от 1 мм) численные значения отклонений и допусков не предусмотрены, поскольку эти степени смогут найти применение при последующем развитии.

Области применения зубчатых колес и передач 7—9-й степеней точности характеризуются табл. 1.62.

ТАБЛИЦА 1.62
Методы обработки и области применения цилиндрических зубчатых передач по степеням точности

Элемент классификации	Степень 7 (точные)	Степень 8 (средней точности)	Степень 9 (пониженной точности)
Метод нарезания	Способ обката на точных станках	Способ обката или же метод деления инструментом, профилированным в соответствии с действительным числом зубьев колеса. Зубья не шлифуются, при необходимости отделяются или притираются	Любой способ
Окончательная обработка рабочей поверхности (профилией)	Для сырых колес рекомендуется точный инструмент, а для закаленных — обязательна отделка (шлифование, шевингование, шевинг-обкатка, притирка) $\nabla 7$		Специальные отделочные операции не требуются
Чистота обработки рабочей поверхности	Зубчатые колеса работающие при повышенных скоростях и умеренных мощностях или наоборот: зубчатые колеса подачи металлорежущих станках, где требуется согласованность движений $\nabla 2$; колеса скоростных редукторов, колеса авиационных редукторов, передачи на устройствах с отсчетом и скоростные передачи с непрямыми зубьями	$\nabla 5$ Зубчатые колеса общего машиностроения, не требующие особой точности: колеса станков, не входящие в делительные цепи; неответственные шестерни авиационных и автотракторостроения; колеса грузоподъемных механизмов, ответственные шестерни сельскохозяйственных машин; колеса нормальных редукторов	$\nabla 4$ Зубчатые колеса, предназначенные для грубой работы, к которым не предъявляются требования нормальной точности; ненагруженные передачи, выполненные по конструктивным соображениям большими, чем следует из расчета
Окружные скорости в м/с: прямозубые колеса непрямоугольные колеса К, п, д.	$D \leq 10$ ≥ 15 Не ниже 0,98 (с подшипниками 0,975)	$D \leq 6$ ≥ 10 Не ниже 0,97 (с подшипниками 0,965)	$D \leq 2$ ≥ 4 Не ниже 0,96 (с подшипниками 0,95)

¹ Степень по нормам кинематической точности может быть на одну грубее, если передача не многороточная.

² Степень по нормам плавности работы может быть на одну грубее.

Во многих случаях целесообразно применять комбинирование указанных выше норм точности из разных степеней точности. Так, для скоростных передач обычно повышают требования к плавности работы, для делительных и отсчетных передач — к их кинематической точности и для тихоходных тяжело нагруженных передач — к контакту зубьев. Стандартами разрешается взаимное комбинирование норм из разных степеней точности при следующих условиях:

а) нормы плавности работы колеса могут быть не более чем на одну (при $m \geq 1$ — на две) степень точнее или на одну степень грубее степени кинематической точности;

ТАБЛИЦА 1.63

Виды сопряжений по нормам бокового зазора
для цилиндрических зубчатых передач

Обозначение вида сопряжения		Сопряжения * и гарантированным зазором	Степени кинематической точности	
по ГОСТ 9178—72	по ГОСТ 1643—72		по ГОСТ 9178—72	по ГОСТ 1643—72
<i>D</i>	—	Большим	4—12 **	—
<i>E</i>	<i>A</i>	Увеличенным	4—12 **	3—12
<i>F</i>	<i>B</i>	Нормальным	4—10	3—10
—	<i>C</i>	Уменьшенным	—	3—9
<i>G</i>	<i>D</i>	Малым	4—8	3—8
—	<i>E</i>	Особо малым	—	3—7
<i>H</i>	<i>H</i>	Нулевым	4—7	3—7

Примечание. * — указанные наименования видов сопряжений имелись в проектах ГОСТов, но в стандарты не включены; ** — для модулей $m_n \leq 0,5$ мм для степеней точности 4—10.

б) нормы контакта зубьев могут быть точнее или на одну степень грубее степени плавности работы колес.

Независимо от степени точности колес и передач назначаются нормы гарантированного бокового зазора. Предусматриваются следующие виды сопряжения (табл. 1.63), обозначенные аналогично полям допусков отверстий в системе ИСО (см. п. 4, глава первая).

Для передач с модулем от 1 мм нормы нормального гарантированного бокового зазора *B* обеспечивают компенсацию уменьшения бокового зазора от нагрева передачи при разности температур зубчатой передачи и корпуса в 25° С и равенстве коэффициентов линейного расширения.

Стандарты разрешают изменять нормы бокового зазора. При комбинировании норм из разных степеней точности обозначение точности колес и передач производится последовательным написанием номеров степеней в виде трехзначного числа и буквы. Первая цифра обозначает номер степени по нормам кинематической точности, вторая — степень по нормам плавности работы колес, третья — степень по нормам контакта зубьев, а буква — вид сопряжения, например: Ст. 6—7—7—G ГОСТ 9178—72.

При отсутствии комбинирования норм из разных степеней точности обозначение точности колес и передач производится одной цифрой и буквой, например: 7—С ГОСТ 1643—72.

Для передач с регулируемым межосевым расстоянием в условное обозначение добавляется буква Р, например: 6—Рf ГОСТ 9178—72. Для передач с измененной величиной допуска зазора указываются две буквы: одна, определяющая вид сопряжения, а другая — вид допуска. Например: 7 — Gf или 7 — Ва.

Обозначение степени точности может применяться к зубчатым передачам или к отдельным зубчатым колесам.

При назначении в чертеже зубчатого колеса требований к его точности не относительно рабочей оси, а другой оси, например оси отверстия, которая может не совпадать с рабочей осью после сборки, погрешность зубчатого колеса в передаче будет отличаться. Это отличие должно учитываться при установлении точности передачи, о чем указывается в п. 2.9 ГОСТ 1643—72.

В табл. 1.64—1.71 приведены отклонения и допуски из ГОСТ 9178—72 и 1643—72 для зубчатых колес и передач с модулем до 10 мм, диаметром до 500 мм, выполняемых по 6, 7, 8 и 9-й степеням точности. Причем, для колес с модулем от 1 мм приведены лишь отклонения и допуски, относящиеся к прямозубым и узким косозубым колесам без осевого перекрытия ($\epsilon_\beta \leq 1,25$), в то время как в ГОСТ 1643—72 имеются также допуски для косозубых колес с осевым перекрытием ($\epsilon_\beta > 1,25$), т. е. имеющих ширину зубчатого венца или полувенца более величины $b > \frac{4m_n}{\sin \beta}$, где β — угол наклона зуба на делительном цилиндре

колеса. Например, при угле наклона $\beta = 30^\circ$ косозубое колесо с осевым перекрытием $\epsilon_\beta > 1,25$ имеет венец шириной более $8m_n$.

При изготовлении зубчатых колес имеется большое разнообразие контролируемых параметров, связанное с различием требований к точности зубчатых колес, технологией их изготовления, объемом производства, наличием измерительных средств. Поэтому в стандартах приводятся отклонения для разных вариантов контролируемых показателей.

Контроль изделий по всем приведенным в стандартах элементам не является необходимым. Стандартом устанавливаются взаимно равноправные комплексы элементов, нормируемых в чертежах и подлежащих сплошному или выборочному контролю.

Для определения кинематической точности колеса должен быть проверен один из шести комплексов контролируемых элементов колеса:

F'_i	F_D и F_{Dk}	F_r и V_W	F_r и F_c	F''_i и V_W	F''_i и F_c
--------	------------------	---------------	---------------	-----------------	-----------------

Принятые обозначения и величины допусков указаны в табл. 1.64.

Для определения плавности работы колеса должен быть проверен один из четырех комплексов контролируемых элементов колеса:

f'_i	f_{pb} и f_t	f_{pb} и f_{pt}	f''_i
--------	------------------	---------------------	---------

ТАБЛИЦА 1.64
Нормы кинематической точности цилиндрических колес в мкм

Сте- пень точ- ности	Обозна- чения	Модуль нормальный m_n в мм	Диаметр делительной окружности в мм									
			Диаметр делительной окружности в мм									
			до 12	св. 12 до 20	св. 20 до 32	св. 32 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 125	св. 125 до 200	св. 200 до 280	св. 280 до 560**	
	F'_f	От 0,1 до 16	$F'_f = F_p + f_f$; значения f_f по табл. 1.65									
	F_r	От 0,1 до 0,5 Св. 0,5 » <1,0 От 1 » 2 Св. 2 » 3,55 » 3,55 » 6 » 6 » 10	7 9	8 10	9 11	10 12 13 14 15 —	12 14 17 18 19 20	14 16	16 19	— 22	— 25 28 30 32	
	V_W	От 0,1 до <1,0 » 1 » 16	4	4	4	5 7	7 11	9	12	16	22 26	
	F''_f	От 0,1 до 0,5 Св. 0,5 » <1,0 От 1 » 2 Св. 2 » 3,55 » 3,55 » 6 » 6 » 10	11 14	12 15	13 16	15 17 18 20 21 —	17 19 24 25 26 28	19 21	22 26	— 28	— 32 40 40 45	
	F_c	От 0,1 до <1,0 » 1 » 16	4	4	4	5 7	7 11	9	11	15	22 26	
	F_p	От 0,1 до <1,0 » 1 » 16	10	11	12 14	14 16	16 18	19 22	22 25	25 30 ²	30 34 ³	
	F^1_{pk}	От 0,1 до <1,0 » 1 » 16	9	10	11 12	12 14	14 16	16 18	19 22	22 25	25 30	

Продолжение табл. 1.64

Те- пень точ- ности	Обозна- чения	Модуль нормальный m_n в мм	Диаметр делительной окружности в мм									
			св. 12 до 12	св. 20 до 20	св. 32 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 125	св. 125 до 200	св. 200 до 280 *	св. 280 до 560**		
	F'_t	От 0,1 до 16	$F'_t = F_p + f_f$; значения f_f по табл. 1.65									
	F_r	От 0,1 до 0,5	11	12	14	16	19	22	26	30	—	—
		Св. 0,5 до 1,0	15	16	18	20	22	25	30	34	35	40
		От 1 до 2				21	26	28	36	42	45	50
		Св. 2 до 3,55				22	30	30	38	48	48	50
		От 3,55 до 6				24	34	34	40	40	40	50
		Св. 6 до 10				—	—	—	—	—	—	—
		От 0,1 до 1	5	5	6	8	11	15	20	26	26	36
		Св. 1 до 1,0				11	11	17	20	26	26	40
	F''_t	От 0,1 до 0,5	17	19	21	24	26	30	35	40	—	—
		Св. 0,5 до 1,0	22	24	26	30	30	36	40	48	45	50
		От 1 до 2				30	40	40	50	63	60	60
		Св. 2 до 3,55				34	40	42	53	67	63	67
		От 3,55 до 6				—	—	48	56	56	70	70
		Св. 6 до 10				—	—	—	—	—	—	—
		От 0,1 до 1	5	5	6	8	10	15	20	26	26	35
		Св. 1 до 1,0				11	11	17	20	26	26	40
	F_p	От 0,1 до 1	16	17	19	22	25	30	36	40	40	46
		Св. 1 до 1,0				22	28	34	40	40	40	56 ³
	f_{pk}^1	От 0,1 до 1	14	16	17	19	22	25	30	35	35	40
		Св. 1 до 1,0				20	22	28	34	40	40	45 ³

Продолжение табл. 1.64

Степень точности	Обозначения	Модуль нормальный m_n в мм	Диаметр делительной окружности в мм							
			дс 12	св. 12 до 20	св. 20 до 32	св. 32 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 125	св. 125 до 200	св. 200 до 280
	F'_i	От 0,1 до 25								св. 280 до 560**
	F_r	От 0,1 до 0,5 Св. 0,5 до <1,0 От 0,1 до 2 Св. 2 до 3,5 Св. 3,55 до 6 Св. 6 до 10	16 21	18 22	20 24	22 26 30 32 34 —	26 30 33 40 42 48	30 36 38 40 42 48	36 42 48 50 53 57 60	— 48 55 63 68 70
	V_W	От 0,1 до <1,0 Св. 1 до 25	6	7	9	11 15	15 24	21 28	36 36	50 6
	F'_l	От 0,1 до 0,5 Св. 0,5 до <1,0 От 1 до 2 Св. 2 до 3,55 Св. 3,55 до 6 Св. 6 до 10	24 36	26 32	30 34	34 38 42 45 48 —	38 42 45 50 56 60 67	42 48 53 56 60 67	48 55 62 67 70 75 85 100	— 70 90 90 95 100
	r_c	От 0,1 до <1,0 Св. 1 до 16	6	7	9	11 15	15 24	21 28	36 36	50 56
	F_p	От 0,1 до <1,0 Св. 1 до 16	22	24	27 32	30 36	35 42	42 48	50 55	64 80
	F'_{pk}	От 0,1 до <1,0	20	22	24	27	30	35	42	50 56

Продолжение табл. 1.64

Сте- пень точ- ности	Обозна- чения	Модуль нормальный m в мм	Диаметр делительной окружности в мм															
			св. 12 до 20		св. 20 до 32		св. 32 до 50		св. 50 до 80		св. 80 до 125		св. 125 до 200		св. 200 до 280		св. 280 до 560**	
			до 12															
8	F'_t	От 0,1 до 40	$F'_t = F_p + f_f$; значения f_f по табл. 1.65															
	F_f	От 0,1 до 0,5 Св. 0,5 до 1,0 От 1 до 2 Св. 2 до 3,55 От 3,55 до 6 От 6 до 10	19 26	21 28	25 30	28 34 38 40 42 —	32 38 45 50 53 60	38 45 48 50 53 60	45 52 60 63 67 70	— 55 60 63 67 70	— 55 60 63 67 70	— 55 60 63 67 70	— 55 60 63 67 70	— 55 60 63 67 70	— 55 60 63 67 70	— 55 60 63 67 70	— 55 60 63 67 70	
	V_W	От 0,1 до <1,0 От 1 до 40	7	9	11	14 19	20 30	26 30	35 45	45 55	— 55 60 63 67 70	— 55 60 63 67 70	— 55 60 63 67 70	— 55 60 63 67 70	— 55 60 63 67 70	— 55 60 63 67 70	— 55 60 63 67 70	
	F''_t	От 0,1 до 0,5 Св. 0,5 до 1,0 От 1 до 2 Св. 2 до 3,55 От 3,55 до 6 От 6 до 10	30 38	34 40	38 45	42 48 53 56 —	45 52 60 70 85	52 60 67 70 85	60 70 85 100 130	— 80 85 90 95 105 110 120 130	— 80 85 90 95 105 110 120 130	— 80 85 90 95 105 110 120 130	— 80 85 90 95 105 110 120 130	— 80 85 90 95 105 110 120 130	— 80 85 90 95 105 110 120 130	— 80 85 90 95 105 110 120 130	— 80 85 90 95 105 110 120 130	
	F_c	От 0,1 до <1,0 От 1 до 40	7	9	11	14 19	20 30	26 30	35 45	45 55	— 55 60 63 67 70	— 55 60 63 67 70	— 55 60 63 67 70	— 55 60 63 67 70	— 55 60 63 67 70	— 55 60 63 67 70	— 55 60 63 67 70	— 55 60 63 67 70
	F_p	От 0,1 до <1,0 От 1 до 40	32	34	38 45	44 50	50 56	60 67	70 80	80 95 110 120 130	— 80 85 90 95 105 110 120 130	— 80 85 90 95 105 110 120 130	— 80 85 90 95 105 110 120 130	— 80 85 90 95 105 110 120 130	— 80 85 90 95 105 110 120 130	— 80 85 90 95 105 110 120 130	— 80 85 90 95 105 110 120 130	
	F'_{pk}	От 0,1 до 1,0	28	32	34	38	44	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150

Продолжение табл. 1.64

Степень точности	Обозначения	Модуль нормальный m_n в мм	Диаметр делительной окружности в мм									
			св. 12 до 20	св. 20 до 32	св. 32 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 125	св. 125 до 200	св. 200 до 280	св. 280 до 560**		
9	F_r	От 0,1 до 0,5 Св. 0,5 > 1,0 От 1 > 2 Св. 2 > 3,55 От 3,55 > 6 > 6 > 10	24 34	26 36 40	36 45 48 50 53 —	42 50 60 63 67 75	48 55 60 63 67 75	55 65 75	— 75	— 90 95 100 105 110		
	V_W	От 0,1 до <1,0	(9)	(11)	(14)	(18)	(25)	(34)	(45)	(60)	(80)	
	F_i''	От 0,1 до 0,5 Св. 0,5 > 1,0 От 1 до 2 Св. 2 > 3,55 От 3,55 > 6 > 6 > 10	38 48	42 50 55	50 60 67 70 75 —	55 65 85	65 75 85 90 95 105	75 85 105 110 120 130	— 100	— 120 130 140 150 150		
	F_c	От 0,1 до <1,0	(9)	(11)	(14)	(18)	(25)	(34)	(45)	(60)	(80)	

Принятые обозначения: F_i' — допуск на кинематическую погрешность колеса; F_r — допуск на радиальное биение зубчатого венца; V_W — допуск на колебание длины общей нормали; F_i'' — допуск на колебание измерительного межосевого расстояния за оборот колеса; F_c — допуск на погрешность обката; F_p — допуск на накопленную погрешность шага по колесу; F_{pk} — допуск на накопленную погрешность k шагов.

* — при $m \leq 0,5$ до диаметра 200; ** — при $0,5 < m < 1$ до диаметра 400.

Примечания

1. F_{pk} назначается в зависимости от длины делительной окружности, для которой действительны указанные выше таблицы диапазоны. Обычно принимается дуга, равная $1/6$ длины делительной окружности.

2. Значения даны для диапазонов диаметров и длин дуг 200—315 мм.

3. Значения даны для диапазонов диаметров и длин дуг 315—500 мм.

Нормы контакта цилиндрических зубчатых колес и передач

Степень точности	Обозначения	Размерность	Для модуля $m_n < 1$			Для модуля $m_n \geq 1$		
			Ширина венца в мм					
			до 10	св. 10 до 20	св. 20 до 40	до 40	св. 40 до 100	св. 100 до 160
5	F_{β}, f_x	мкм	6	7	8	8	10	12
	f_y	мкм	3	3	4	4	5	6
	Пятно контакта	%	По высоте 50, по длине 70			По высоте 55, по длине 80		
6	F_{β}, f_x	мкм	7	9	10	10	12	16
	f_y	мкм	4	4	5	5	6	8
	Пятно контакта	%	По высоте 50, по длине 70			По высоте 50, по длине 70		
7	F_{β}, f_x	мкм	9	11	12	12	16	20
	f_y	мкм	5	5	6	6	8	10
	Пятно контакта	%	По высоте 40, по длине 50			По высоте 45, по длине 60		
8	F_{β}, f_x	мкм	13	15	17	20	25	32
	f_y	мкм	7	8	9	10	13	16
	Пятно контакта	%	По высоте 40, по длине 50			По высоте 30, по длине 40		
9	F_{β}, f_x	мкм	18	22	24	32	40	50
	f_y	мкм	9	11	12	16	20	25
	Пятно контакта	%	По высоте 25, по длине 30			По высоте 20, по длине 25		

Принятые обозначения: F_{β} — допуск на направление зуба; f_x — допуск на непараллельность осей; f_y — допуск на перекос осей.

Примечание. В качестве показателя допускается использовать требования к пятну контакта колеса в зацеплении с измерительным колесом; эти нормы регламентируются отраслевым стандартом.

ТАБЛИЦА 1.66

Нормы плавности цилиндрических колес в мкм

Обозначение	Степень точности 5				Степень точности 6				Степень точности 7							
	Модуль нормальный m_n в мм				Диаметр делительной окружности в мм											
f'_i	От 0,1 до 0,5	св. 0,5 » <1,0	От 1 » 2	св. 2 » 3,55	» 3,55 » 6	» 6 » 10	до 50	св. 50 до 125	св. 125 до 200	св. 200 до 280	св. 280 до 560	до 50	св. 50 до 125	св. 125 до 200	св. 200 до 280	св. 280 до 560
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
$\pm f_{pb}$	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

$\pm f_{pt}$	От 0,1 до 0,5	6	—	—	3	—	—	11	—	—
	Св. 0,5 » <1,0	6	—	—	9	—	—	13	—	—
	От 1 » 2	7	7	8	10	11	12	14	15	16
	Св. 2 » 3,55	7	7	8	9	11	12	15	16	17
	» 3,55 » 6	8	8	9	10	12	13	17	18	19
	» 6 » 10	—	9	10	11	15	15	—	21	22
f_t	От 0,1 до 0,5	5	—	—	7	—	—	9	—	—
	Св. 0,5 » <1,0	6	—	—	8	—	—	10	—	—
	От 1 » 2	6	6	7	8	9	10	11	12	15
	Св. 2 » 3,55	6	6	7	8	9	10	11	12	17
	» 3,55 » 6	7	8	9	10	10	11	13	14	16
	» 6 » 10	—	9	10	11	12	12	—	17	19
f_t''	От 0,1 до 0,5	7	—	—	9	—	—	13	—	—
	Св. 0,5 » <1,0	9	—	—	11	—	—	15	—	—
	От 1 » 2	10	11	12	12	14	15	20	21	22
	Св. 2 » 3,55	11	11	12	13	15	16	21	22	24
	» 3,55 » 6	12	13	13	14	17	18	24	25	26
	» 6 » 10	—	14	15	16	—	20	—	28	30

Продолжение табл. 1.66

Обозначение	Степень точности 8				Степень точности 9					
	Модуль нормальный m_n в мм				Диаметр делительной окружности в мм					
					до 50	св. 50 до 125	св. 125 до 200	св. 200 до 280	св. 280 до 560	до 50
f'_i	От 0,1 до 0,5	26								
	Св. 0,5 » <1,0	30								
	От 1 до 2	32		40						
	Св. 2 » 3,55	36		42						
	От 3,55 до 6	38		48						
$\pm f_{pb}$	Св. 6 » 10	45		60						
	От 0,1 до 0,5	53								
	Св. 0,5 » <1,0									
	От 1 до 2	19		22						
	Св. 2 до 3,55	21		24						
$\pm f_{pt}$	Св. 3,55 » 6	24		26						
	От 6 » 10	28		30						
	От 0,1 до 0,5	14								
	Св. 0,5 » <1,0	16								
	От 1 до 2	20		22						
	Св. 2 до 3,55	22		24						
	Св. 3,55 » 6	24		26						
	От 6 » 10	28		30						
	От 0,1 до 0,5	16								
	Св. 0,5 » <1,0	18								
	От 1 до 2	20		22						
	Св. 2 до 3,55	21		24						
	От 3,55 до 6	22								
	От 6 до 10	26								
	От 10 до 16	30								
	От 16 до 25	32								
	От 25 до 40	34								
	От 40 до 63	36								
	От 63 до 100	38								
	От 100 до 160	40								

	» 3,55 » 6	24	25	26	28	34	36	38	40
	» 6 » 10	—	30	30	32	—	42	45	4
f_f	От 0,1 до 0,5	11	—	—	—	—	—	—	—
	Св. 0,5 » <1,0	13	—	—	—	—	—	—	—
	От 1 » 2	13	14	17	22	—	—	—	—
	Св. 2 » 3,55	15	16	19	24	—	—	—	—
	» 3,55 » 6	18	19	22	28	—	—	—	—
	» 6 » 10	—	25	28	32	—	—	—	—
f_i	От 0,1 до 0,5	17	—	—	—	—	—	—	—
	Св. 0,5 » <1,0	20	—	—	—	—	—	—	—
	От 1 » 2	28	30	32	34	34	36	40	42
	Св. 2 » 3,55	30	32	34	38	33	40	42	45
	» 3,55 » 6	34	36	38	40	42	45	48	50
	» 6 » 10	—	42	42	45	—	53	56	60

Принятые обозначения: f_i — допуск на местную кинематическую погрешность; f_{pb} — предельное отклонение шага зацепления; f_{pt} — предельное отклонение шага; f_f — допуск на погрешность профиля зуба; f_i — допуск на колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе.

Примечания:

1. Наибольшая разность шагов зацепления в пределах колеса допускается не более величины одностороннего отклонения f_{pb} .

2. При установлении допуска на разность любых шагов V_p в пределах колеса взамен предельных отклонений шага его значение не должно превышать $1,6f_{pb}$.

3. При обеспечении в измерении угла зацепления α_{tw} не равного углу зацепления α_{tw0} в обработке колеса колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе не должно превышать $1,25f_i$.

Вид сопряжения		Обозначение	Межосевое расстояние в мм									
			до 12	св. 12 до 20	св. 20 до 32	св. 32 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 125	св. 125 до 180	св. 180 до 250	св. 250 до 315	
$m_n < 1$	$m_n \geq 1$											
H	H	$i_n \min$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
G	—		6	8	9	11	13	15	18	20	23	
F	—		10	11	13	16	19	22	25	29	32	
E	E		16	18	21	25	30	35	40	46	52	
D	D		22	27	33	39	46	54	63	70	81	
—	G						74	87	100	115	130	
—	B						120	140	160	185	210	
—	A					130	220	250	290	320		
H	H, E	$\pm f_a$	8	9	11	13	15	18	20	23	26	
G	D		11	14	17	20	23	27	32	36	40	
F	C		18	22	26	32	38	43	50	58	65	
E	B		29	35	42	50	60	70	80	92	105	
D	A		45	55	65	80	95	110	125	145	160	
Для всех видов сопряжений		$A_{a''e}$	Для колес внешнего зацепления равно $+f_i''$, для колес внутреннего зацепления равно $+T_H$									
		$A_{a''i}$	Для колес внешнего зацепления равно $-T_H$, для колес внутреннего зацепления равно $-f_i$									
Примечание. Для передач с измененной величиной гарантированного бокового зазора, не соответствующего ни одному из указанных видов сопряжений, величина $\pm f_a = 0,5 i_n \min$.												

ТАБЛИЦА 1.68

Наименьшее дополнительное смещение исходного контура ($-A_{He}$ и $+A_{Hi}$)
для колес с модулем $m_n < 1$ в мм

Вид сопряжения	Степень точности по нормам плановости	Диаметр делительной окружности в мм							
		до 12	св. 12 до 20	св. 20 до 32	св. 32 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 125	св. 125 до 180	св. 180 до 250
<i>H</i>	4—7	5	6	7	8	9	11	13	14
<i>G</i>	4—6	12	14	16	18	22	25	28	34
	7	16	18	20	22	26	28	30	36
	8	22	24	26	28	30	32	34	38
<i>F</i>	4—6	18	22	26	30	35	40	45	50
	7	22	24	28	32	36	42	48	55
	8	26	30	34	38	42	46	53	60
	9	36	40	44	48	52	55	60	65
<i>E</i>	4—7	28	32	38	45	52	60	70	80
	8	35	40	45	50	55	65	75	85
	9	42	48	55	60	65	70	80	90
<i>D</i>	4—7	40	55	60	70	80	90	100	130
	8	50	55	60	70	80	95	115	135
	9	55	60	70	80	90	100	120	140

ТАБЛИЦА 1.69

Наименьшее дополнительное смещение исходного контура
 A_{He} для колес с модулем $m_n \geq 1$ в мм

Вид сопряжения	Степень точности по нормам плановости	Диаметр делительной окружности в мм						
		до 80	св. 80 до 125	св. 125 до 180	св. 180 до 250	св. 250 до 315	св. 315 до 400	св. 400 до 500
<i>H</i>	3—6	12	14	16	18	20	22	25
	7	13	15	18	20	22	25	28
<i>E</i>	3—6	30	35	40	46	52	57	63
	7	34	40	45	50	55	63	70

Продолжение табл. 1.69

Вид сопряжения	Степень точности по нормам плавно-сти	Диаметр делительной окружности в мм						
		до 80	св. 80 до 125	св. 125 до 180	св. 180 до 250	св. 250 до 315	св. 315 до 400	св. 400 до 500
<i>D</i>	3—6	48	55	63	70	80	90	100
	7	52	60	70	80	90 ¹	100	110
	8	55	65	75	85	100	110	120
<i>G</i>	3—6	75	85	100	115	130	140	155
	7	80	95	110	125	140	150	170
	8	90	105	120	140	160	170	190
	9	100	110	130	150	170	180	200
<i>B</i>	3—6	120	140	160	185	210	230	250
	7	130	150	170	200	230	250	270
	8	140	170	190	220	250	280	300
	9	160	180	200	240	280	300	320
<i>A</i>	3—6	190	220	250	290	320	360	400
	7	200	240	280	320	360	400	440
	8	220	260	300	340	380	420	480
	9	250	280	320	360	420	480	530

ТАБЛИЦА 1.70

Допуск на смещение исходного контура T_H
для колес с модулем $m_n < 1$ в мкм

Вид сопряжения	Вид допуска бокового зазора	Допуск на радиальное биение зубчатого венца F_r в мкм											
		св. 6 до 8	св. 8 до 10	св. 10 до 12	св. 12 до 16	св. 16 до 20	св. 20 до 25	св. 25 до 32	св. 32 до 40	св. 40 до 50	св. 50 до 60	св. 60 до 80	св. 80 до 100
H	h	16	18	20	22	26	32	38	45	55	65	80	100
G	g	18	20	22	25	30	35	42	50	60	70	90	110
F	f	20	22	25	28	32	38	45	55	65	80	100	120
E, D	e	22	25	28	32	38	45	52	63	75	90	110	140

ТАБЛИЦА 1.71

Допуск на смещение исходного контура
 T_H для колес с модулем $m_n \geq 1$ мм в мкм
 (поле допуска — в тело колеса)

Вид сопряжения	Вид допуска бокового зазора	Допуск на радиальное биение зубчатого венца F_r в мкм							
		св. 20 до 25	св. 25 до 32	св. 32 до 40	св. 40 до 50	св. 50 до 60	св. 60 до 80	св. 80 до 100	св. 100 до 125
H, E	h	45	52	60	70	80	95	120	140
D	d	55	55	75	90	100	125	150	180
G	o	70	80	95	110	130	160	200	220
B	b	90	105	120	140	160	200	240	280
A	a	110	130	150	180	200	250	300	360
	z	140	160	180	220	250	300	360	450
	y	180	200	240	280	320	360	450	540
	x	220	250	280	320	360	450	560	680

Пр и м е ч а н и е. При измененной величине допуска бокового зазора, задаваемой двумя буквами, например Ca , допуск на смещение исходного контура T_H принимается отличающимся от предусмотренного для вида сопряжения и берется в соответствии с буквой указанного вида допуска бокового зазора; например, A_{He} — по сопряжению G , а T_H — по виду допуска a .

Принятые обозначения и величины предельных отклонений и допусков указаны в табл. 1.66.

Нормы контакта зубьев в передаче включают требования к пятну контакта в паре или направлению зуба колес и для передач с нерегулируемым расположением осей: непараллельность осей f_x и перекося осей f_y (см. табл. 1.65).

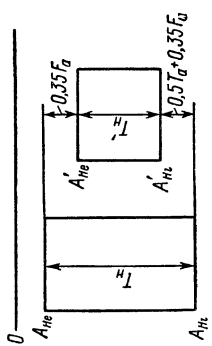
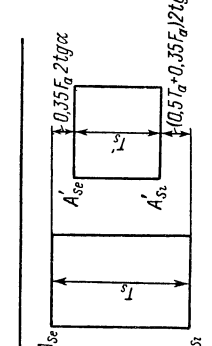
Для проверки элементов, определяющих вид сопряжения колес в передаче, т. е. величины боковых зазоров (см. табл. 1.67), должны быть проконтролированы (см. табл. 1.68—1.71) A_{He} и T_H , или A_{Wme} и T_{Wm} , или A_{se} и T_{se} , или A_{ave} и A_{avi} (табл. 1.67).

Кроме того, должны быть подвергнуты контролю: у передач с нерегулируемым расположением осей — отклонение межосевого расстояния f_a , у передач с регулируемым расположением осей — боковой зазор f_n (см. табл. 1.67).

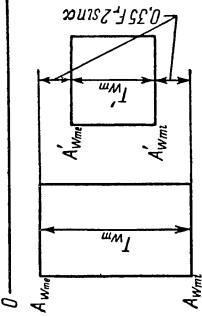
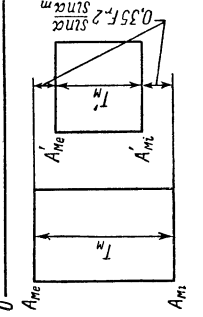
При пользовании допусками по стандартам необходимо учитывать следующее.

1. Стандартами допускается превышение одной из величин, входящих в комплекс, характеризующих кинематическую точность колеса, если суммарное влияние обеих величин комплекса не превышает допуска на кинематическую погрешность колеса.

ТАБЛИЦА 1.72
Формулы для определения производственных допусков для разных методов контроля смещения исходного контура

Предельные отклонения и допуск	Причина уменьшения производственного допуска	Расчетная формула	Эскиз
<p>Наименьшее смещение исходного контура A'_{He}</p> <p>Допуск на смещение исходного контура T'_H</p> <p>Наибольшее смещение исходного контура A'_{Hi}</p>		$A'_{He} = A_{He} + 0,35F_a$ $T'_H = T_H - 0,5T_a - 0,7F_a$ $A'_{Hi} = A'_{He} + T'_H$	
<p>Верхнее отклонение толщины зуба по постоянной хорде A'_{Se}</p> <p>Допуск на толщину зуба T'_S</p> <p>Нижнее отклонение толщины зуба A'_{Si}</p>	Погрешность базы измерения T_a и F_a	$A'_{Se} = (A_{He} + 0,35F_a) 2 \operatorname{tg} \alpha$ $T'_S = (T_H - 0,5T_a - 0,7F_a) 2 \operatorname{tg} \alpha$ $A'_{Si} = A'_{Se} + T'_S$	

Продолжение табл. 1.72

Предельные отклонения и допуск	Причина уменьше- ния про- извод- ственного допуска	Расчетная формула	Эскиз
Верхнее отклонение средней длины общей нормали A_{Wme} Допуск на среднюю длину общей нормали T_{Wm} Нижнее отклонение средней длины общей нормали A_{Wmi}	Отсут- ствие в резуль- татах изме- рения влияния F_r	$A_{Wme} = (A_{He} + 0,35F_r) 2 \sin \alpha$ $T_{Wm} = (T_H - 0,7F_r) 2 \sin \alpha$ $A_{Wmi} = A_{Wme} + T_{Wm}$	
Верхнее отклонение разме- ра по роликам A_{Me} Допуск на размер по роли- кам T_M Нижнее отклонение разме- ра по роликам A_{Mi}		$A_{Me} = (A_{He} + 0,35F_r) \times$ $\times 2 \frac{\sin \alpha}{\sin \alpha_m}$ $T_M = (T_H - 0,7F_r) 2 \frac{\sin \alpha}{\sin \alpha_m}$ $A_{Mi} = A_{Me} + T_M$	

Обозначения: T_H — допуск на диаметр окружности вершин; F_a — допуск на биеение цилиндра вершин; F_r — допуск на радиальное биеение зубчатого венца; α — угол исходного контура; α_m — угол давления на радиус, проходящий через центр ролика.

2. Нормы точности, относящиеся к одной стороне зубьев, например F_t^i , F_p , F_c , f_t^i , f_f , f_{pb} , f_{pt} и др., в зависимости от условий работы по правым и левым профилям допускается назначать из разных степеней точности.

3. Боковой зазор между зубьями сопряженных колес создается за счет дополнительного радиального сдвига исходного контура (см. табл. 1.76 и 1.77), приводящего к уменьшению толщины зубьев колес. При этом радиальное биение зубчатого венца не должно выводить действительное смещение исходного контура на любом зубе за границы, устанавливаемые A_{He} и T_H .

4. При контроле смещения исходного контура на базе окружности выступов колеса должны учитываться погрешности, вносимые базой измерения. Уменьшенный производственный допуск должен определяться согласно табл. 1.78.

При контроле толщины зуба штангензубомером на базе окружности выступов обязательное утонение зуба по постоянной хорде зуба и допуск на толщину зуба должны определяться по формуле табл. 1.78.

При контроле размера по роликам величины A_{He} и T_H пересчитываются по формулам табл. 1.72.

Допуски к о н и ч е с к и х зубчатым передач с механически обработанными металлическими колесами внешнего зацепления приводятся в ГОСТ 9368—60 при модуле до 1 мм, диаметрах делительной окружности до 320 мм для колес с прямыми и косыми зубьями и в ГОСТ 1758—56 при модуле св. 1 до 30, диаметрах делительной окружности до 2000 мм для колес с прямыми, косыми и криволинейными зубьями.

Для устанавливаемых 12 степеней точности допуски и отклонения приводятся в ГОСТ 9368—60 для степеней 5—10 и в ГОСТ 1758—56 для степеней 5—11.

Стандартами разрешается комбинирование норм разных степеней точности, причем нормы плавности колеса могут быть не более чем на одну степень точнее или грубее норм кинематической точности; нормы контакта зубьев не могут быть грубее степени плавности колес.

В стандартах устанавливаются взаимно равноправные комплексы контроля.

Показателем кинематической точности конического колеса является о д и н из пяти элементов или комплексов:

δF_{Σ}	δt_{Σ}	E_o и $\delta \varphi_{\Sigma}$	$\delta_o c_n$ и $\delta \varphi_{\Sigma}$	$\delta_o \varphi_n$ и $\delta \varphi_{\Sigma}$
---------------------	---------------------	-----------------------------------	--	--

Для выбранного элемента или комплекса на чертеже указываются допуски, и колесо контролируется по этим показателям. Принятые обозначения и величины допусков указаны в табл. 1.73. Последний комплекс относится только к прямоугольным коническим колесам.

Для определения плавности работы конического колеса должен быть проверен о д и н из четырех указанных ниже комплексов (принятые обозначения см. табл. 1.74):

δF	Δt_o и δf	δt и δf	$\delta_{\gamma \varphi_n}$
------------	---------------------------	-------------------------	-----------------------------

ТАБЛИЦА 1.73

Нормы кинематической точности конических колес
(линейные в мкм, угловые в с)

Степени точности	Обозначения допусков	Модуль торцовый m_t в мм	Диаметр колеса в мм							
			до 12	св. 12 до 20	св. 20 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 200	св. 200 до 320
7	δF_{Σ}	До 0,5	30	34	38	42	48	58	72	90
		Св. 0,5 до 1	36	40	44	48	55	65	78	95
		» 1 » 30				50	65	75	90	110
	δt_{Σ}	До 0,5	22	24	28	32	38	48	62	80
		Св. 0,5 до 1	25	28	32	36	42	52	66	85
		» 1 » 30				40	50	60	75	90
	E_o	До 0,5	18	20	22	25	28	34	42	50
		Св. 0,5 до 1	22	24	26	28	34	40	46	55
		» 1 » 30				32	42	50	58	70
8	$\delta_o \varphi_H$	До 0,5	35	38	40	42	46	52	62	72
		Св. 0,5 до 1	38	40	44	46	52	58	65	75
		» 1 » 2,5				55	65	75	85	100
		» 2,5 » 6				60	70	80	90	105
		» 6 » 10				65	75	85	95	110
	$\delta_o c_H$	Св. 1 до 2,5				40	45	52	58	65
		» 2,5 » 6				42	48	55	60	70
		» 6 » 10				—	55	60	65	75
	$\delta \varphi_{\Sigma}$	До 1	300	180	140	110	90	80	70	60
		Св. 1 до 30				240	150	115	95	70
	δF_{Σ}	До 0,5	50	52	58	65	75	95	115	140
		Св. 0,5 до 1	55	60	65	75	90	100	130	150
	δt_{Σ}	До 0,5	34	38	45	50	58	75	100	130
		Св. 0,5 до 1	38	45	52	58	65	85	105	140
		» 1 » 30				60	80	100	115	140

Продолжение табл. 1.73

Степени точности	Обозначения допусков	Модуль торцовый m_t в мм	Диаметр колеса в мм							
			до 12	св. 12 до 20	св. 20 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 200	св. 200 до 320
8	E_o	До 0,5	28	32	36	40	45	55	65	80
		Св. 0,5 до 1	36	38	42	45	55	65	75	90
		» 1 » 30				50	65	80	95	110
	$\delta_o \Phi_H$	До 0,5	55	60	65	67	75	85	100	115
		Св. 0,5 до 1	60	65	70	75	85	95	105	120
		» 1 » 2,5				90	105	115	130	160
		» 2,5 » 6				100	110	120	140	170
		» 6 » 10				105	115	130	150	180
9	$\delta_o c_H$	Св. 1 до 2,5				60	70	85	95	105
		» 2,5 » 6				65	75	90	100	110
		» 6 » 10				—	90	100	105	115
	$\delta \Phi_\Sigma$	До 1	480	280	220	180	140	120	110	100
		Св. 1 до 30				380	240	190	150	110
	δt_Σ	До 0,5	55	60	70	80	95	120	160	200
		Св. 0,5 до 1	60	70	80	90	105	130	170	210
		» 1 » 30				100	120	160	190	220
	E_o	До 0,5	45	50	55	60	70	85	105	130
		Св. 0,5 до 1	55	60	65	70	85	105	120	140
		» 1 » 30				80	105	120	150	180
	$\delta_o \Phi_H$	До 0,5	90	95	100	110	120	140	160	180
		Св. 0,5 до 1	95	100	110	120	135	150	170	190
		» 1 » 2,5				—	—	—	—	—
		» 2,5 » 6				160	180	200	220	260
		» 6 » 10				170	190	210	240	280

Продолжение табл. 1.73

Степени точности	Обозначения допусков	Модуль торцовый m_t в мм	Диаметр колеса в мм							
			до 12	св. 12 до 20	св. 20 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 200	св. 200 до 320
9	$\delta_{\phi_{\Sigma}}$	Св. 2,5 до 6				105	115	140	160	180
		» 6 » 10				—	140	160	170	190
	δF_{Σ}	До 1	750	450	360	280	220	200	180	160

Примечание. δF_{Σ} — допуск на кинематическую погрешность колеса; δt_{Σ} — допуск на накопленную погрешность окружного шага; E_o — допуск на биеение зубчатого венца; $\delta_{\phi_{\Sigma}}$ — допуск на колебание измерительного межосевого угла за один оборот колеса; $\delta_{\phi_{\Sigma}}$ — допуск на колебание измерительного бокового зазора; δF_{Σ} — допуск на погрешность обката (в с).

ТАБЛИЦА 1.74

Нормы плавности работы конических колес в мм

Степени точности	Обозначения отклонений и допусков	Модуль торцовый m_t в мм	Диаметр колеса в мм							
			до 12	св. 12 до 20	св. 20 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 200	св. 200 до 300
7	δF	До 1	8	8	9	9	10	11	11	12
		Св. 1 до 2,5				9	10	11	12	13
		» 2,5 до 6				11	12	13	13	14
		» 6 » 10				14	15	15	16	17
	$\Delta_{\Sigma}^{t_c}$ $\Delta_{\Sigma}^{t_c}$	До 1	±7	±7	±8	±8	±8	±9	±10	±11
		Св. 1 до 2,5				±7	±7	±8	±8	±9
		» 2,5 » 6				±8	±9	±10	±10	±11
		» 6 » 10				—	±10	±11	±12	±13
	δt	До 1	12	12	14	14	14	16	16	18
	δf	До 1	14	14	15	15	16	16	18	20

Продолжение табл. 1.74

Степени точно-сти	Обозначения от-клонений и до-пусков	Модуль торцовый m_t в мм	Диаметр колеса в мм							
			до 12	св. 12 до 20	св. 20 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 200	св. 200 до 300
7	$\delta_{\gamma_{\Phi H}}$	До 1	17	17	18	18	19	19	21	22
		Св. 1 до 2,5				24	24	24	25	28
		» 2,5 » 6				28	28	28	30	32
		» 6 » 10				—	34	34	36	38
8	δt	До 1	20	20	22	22	22	25	25	28
		Св. 1 до 2,5				22	24	25	26	30
		» 2,5 » 6				26	28	30	32	36
		» 6 » 10				—	34	36	38	40
	δf	До 1	22	22	24	24	24	25	28	32
		Св. 1 до 2,5								
		» 2,5 » 6								
		» 6 » 10								
9	$\delta_{\gamma_{\Phi H}}$	До 1	26	26	26	28	30	30	34	36
		Св. 1 до 2,5				38	38	38	40	45
		» 2,5 » 6				42	42	42	48	50
		» 6 » 10				—	52	52	55	58
	δt	До 1	32	32	36	36	36	40	40	45
		Св. 1 до 2,5				—	—	—	—	—
		» 2,5 » 6				42	45	48	50	55
		» 6 » 10				—	52	55	58	60
9	δf	До 1	36	36	38	38	38	40	45	50
		Св. 1 до 2,5								
		» 2,5 » 6								
		» 6 » 10								

Примечание. δF — допуск на циклическую погрешность; $\Delta_{\text{в.с.}}$; $\Delta_{\text{н.с.}}$ — предельные отклонения окружного шага; δt — допуск на разность окружных шаров; $\delta_{\gamma_{\Phi H}}$ — допуск на колебание измерительного межосевого угла на одном зубе; δf — допуск на профиль.

ТАБЛИЦА 1.75

Нормы контакта зубьев в конической передаче в мкм

Обозначения отклонений и допусков	Модуль торцовый m_t в мм	Длина зуба b (в мм) или длина образующей делительного конуса L (в мм) или угол делительного конуса φ	Степени точности		
			7	8	9
Пятно контакта	До 1	По высоте и длине	Не менее 50%	Не менее 50%	Не менее 30%
	Св. 1		Не менее 60%	Не менее 50%	Не менее 40%
δB_0	До 1	b до 5	6	8	10
		Св. 5 до 10	10	12	16
		» 10	16	20	25
δa	До 1	L до 20	14	18	22
		Св. 20 до 80	16	20	25
		» 80 » 120	18	22	28
		» 120 » 200	20	25	32
	Св. 1	L до 200 Св. 200 до 320	19 22	24 28	30 36
$\Delta_B K$ $\Delta_H K$	До 0,5	φ до 30°	0—40	0—50	0—60
		Св. 30 до 60°	0—20	0—25	0—32
		» 60°	0—15	0—19	0—24
	Св. 0,5 до 1	φ до 30°	0—50	0—60	0—80
		Св. 30 до 60°	0—25	0—32	0—40
		» 60°	0—20	0—25	0—32
Св. 1 до 2,5 » 2,5 » 6 » 6 » 10	=	0—30	0—38	—	
		0—48	0—58	0—75	
		0—60	0—80	0—100	

Примечание. δB_0 — допуск на направление зуба; δa — допуск на непересечение осей. $\Delta_B K$; $\Delta_H K$ — предельные смещения вершины делительного конуса

Значения допусков на профиль δf для колес с модулем св. 1 не содержатся в стандарте 1758—56, поэтому комплексы 2 и 3-й для этих колес состоят лишь из одного элемента (Δt_c или δt).

Показателями, определяющими контакт зубьев в передаче, являются (принятые обозначения см. табл. 1.75):

для колес с модулем до 1 мм — ΔB_o ,

для передач нерегулируемых — пятно контакта, ΔK и δa ,

для передач регулируемых — пятно контакта и δa .

При бочкообразной форме зубьев, при модуле св. 1 мм, допускается принимать δa и ΔK из следующей более грубой степени норм контакта зубьев в передаче.

Специальные требования к размерам, форме, расположению или определению пятна контакта зубьев в передаче устанавливаются независимо от норм стандартов. Разрешается не назначать норм на пятно контакта для колес с модулями до 0,5 мм и по высоте для колес с модулями св. 0,5 мм до 1 мм. Для мелко модульных колес при назначении норм на пятно допускается не назначать допусков на направление зуба и профиль.

Показателями, обеспечивающими гарантированный боковой зазор, являются (принятые обозначения см. табл. 1.76 и 1.77):

для колес — ΔS или $\Delta \varphi_n$ (для прямозубых);

для нерегулируемых по углу передач $\Delta \varphi_n$.

Стандартами разрешается определять величину отклонения или колебания измерительного межосевого угла по соответствующему значению осевого перемещения одного из колес в плотном зацеплении.

Величины перемещений оси шестерни находятся путем пересчета значений для изменений измерительного межосевого угла по формулам:

$$\delta_o a_n = \frac{\delta_o \varphi_n}{\cos \varphi_1}; \quad \delta_v a_n = \frac{\delta_v \varphi_n}{\cos \varphi_1};$$

$$\Delta_v a_n = \frac{\Delta_v \varphi_n}{\cos \varphi_1}; \quad \Delta_n a_n = \frac{\Delta_n \varphi_n}{\cos \varphi_1},$$

где Δa_n — линейное перемещение оси шестерни, отсчитываемое в направлении, перпендикулярном к этой оси; $\Delta \varphi_n$ — угловое отклонение одной из осей, выраженное в линейных величинах на длине, равной длине образующей делительного конуса ($\delta_o \varphi_n$ — см. табл. 1.73; $\delta_v \varphi_n$ — табл. 1.74 и $\Delta_v \varphi_n$ и $\Delta_n \varphi_n$ — табл. 1.76); φ_1 — половина угла при вершине делительного конуса шестерни.

Для конических передач остаются в силе указания о пользовании допусками по стандартам для цилиндрических передач (см. выше).

Допуски червячных передач с металлическими механически обработанными червячными колесами, сопрягаемыми с цилиндрическими червяками при любом числе заходов, приводятся: в ГОСТ 9774—61 для передач с осевым модулем до 1 мм, с диаметрами делительных окружностей червячных колес до 320 мм и диаметрами делительных цилиндров червяков до 50 мм; в ГОСТ 3675—56 соответственно для модулей св. 1 до 30 мм, диаметров колес до 2000 мм и диаметров червяков до 400 мм. Допуски для глобоидных передач даны в ГОСТ 16502—70.

Стандарт 3675—56 охватывает также червячные кинематические передачи с диаметрами колес до 5000 мм при осевом модуле св. 1 до 16 мм.

ТАБЛИЦА 1.77

Наименьшее утонение зуба и допуск на толщину зуба
конических колес в мкм

Степени точности	Виды сопряжений	Обозначения отклонений и допусков	Модуль торцовый m_t в мм	Диаметр колеса в мм							
				до 12	св. 12 до 20	св. 20 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 200	св. 200 до 320
7	C	$\Delta_{вS}$	До 1 Св. 1 до 2,5 » 2,5 » 6 » 6 » 10	12	12	13	13	15	16	18	21
							13	16	19	21	25
	δS		До 0,5 Св. 0,5 до 1 » 1 » 10	19	19	22	22	28	34	40	48
				22	22	28	28	34	34	40	48
	D	$\Delta_{вS}$	До 1 Св. 1 до 2,5 » 2,5 » 6 » 6 » 10	16	17	18	20	22	25	28	32
							38	40	52	60	75
8	C	$\Delta_{вS}$	До 1 Св. 1 до 2,5 » 2,5 » 6 » 6 » 10	16	17	18	20	22	25	28	32
							38	40	52	60	75
	δS		До 0,5 Св. 0,5 до 1 » 1 » 10	22	22	26	26	32	38	45	55
				26	26	32	32	38	38	45	55
	D	$\Delta_{вS}$	До 1 Св. 1 до 2,5 » 2,5 » 6 » 6 » 10	21	22	25	28	32	36	40	48
							55	70	85	110	130
9	C	$\Delta_{вS}$	До 1 Св. 1 до 2,5 » 2,5 » 6 » 6 » 10	21	22	25	28	32	36	40	48
							55	70	85	110	130
	δS		До 0,5 Св. 0,5 до 1 » 1 » 10	26	26	30	30	38	45	52	60
				30	30	38	38	45	45	52	60
	D	$\Delta_{вS}$	До 1 Св. 1 до 2,5 » 2,5 » 6 » 6 » 10	26	26	30	30	38	45	52	60
							60	80	80	90	110
10	C	$\Delta_{вS}$	До 1 Св. 1 до 2,5 » 2,5 » 6 » 6 » 10	32	34	38	45	50	60	70	80
							100	130	160	200	240
	δS		До 0,5 Св. 0,5 до 1 » 1 » 10	32	34	38	45	50	60	70	80
							100	130	160	200	240
	D	$\Delta_{вS}$	До 1 Св. 1 до 2,5 » 2,5 » 6 » 6 » 10	32	34	38	45	50	60	70	80
							100	130	160	200	240

Продолжение табл. 1.77

Степени точности	Виды сопряжений	Обозначения отклонений и допусков	Модуль торцовый m_t в мм	Диаметр колеса в мм							
				до 12	св. 12 до 20	св. 20 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 200	св. 200 до 320
9	D	До 1	34	36	38	40	42	46	48	52	
		Св. 2,5 до 6				55	65	75	85	105	
		» 6 » 10				—	70	80	95	105	
		До 0,5	45	45	55	55	70	85	100	130	
		Св. 0,5 до 1	55	55	70	70	85	100	100	130	
		» 2,5 » 10				100	130	130	170	210	
	X	До 1	36	38	42	45	48	52	58	65	
		Св. 2,5 до 6				80	95	100	130	160	
		» 6 » 10				—	100	115	130	160	
		До 0,5	52	52	60	60	80	100	115	150	
		Св. 0,5 до 1	60	60	80	80	100	115	115	150	
		» 2,5 » 10				110	150	170	190	240	
Ш	До 1	45	48	52	55	62	70	80	90		
	Св. 2,5 до 6				120	150	180	210	260		
	» 6 » 10				—	150	180	220	260		
	До 0,5	60	60	70	70	90	110	130	170		
	Св. 0,5 до 1	70	70	90	90	110	130	130	170		
	» 2,5 » 10				120	170	170	200	250		

Примечание. $\Delta_{в} S$ — наименьшее утопление зуба; δS — допуск на толщину зуба (в тело колеса).

Для передач с модулем до 1 мм допуски и отклонения предусмотрены для 4—10-й степеней точности и для силовых передач с модулем св. 1 — для степеней 5—9.

Стандартами устанавливаются: нормы точности червяка (табл. 1.78 для червяков диаметром до 200 мм, модулем до 10 мм и степеней точности 7—9), нормы кинематической точности червячного колеса (табл. 1.79 для колес диаметром до 320 мм), нормы плавности работы червячных колес (табл. 1.80; для модулей св. 1 мм нормы и табл. 1.79 и 1.80 в стандарте не разделены), нормы контакта и точности монтажа червячных передач (табл. 1.81 и 1.82) и нормы боковых зазоров (табл. 1.83—1.88).

Для передач с модулем до 1 мм допускается комбинирование норм кинематической точности колеса и плавности работы и контакта из разных степеней точности. При комбинировании нормы плавности работы колеса могут быть не более чем на одну степень точнее или грубее нормы кинематической точности. Степень точности червяка должна быть одинакова со степенью кинематической точности колеса.

Показателем точности червяка является комплекс:

$$\Delta t, \quad \Delta t_{\Sigma}, \quad \Delta \quad \text{и} \quad E_{\text{в}}$$

Показателями точности червячных колес является для передач с модулем до 1 мм один из четырех комплексов:

$$\delta F_{\text{к}\Sigma} \quad \delta t_{\text{к}\Sigma} \quad E \text{ и } \delta \varphi_{\Sigma} \quad \delta a_o \text{ и } \delta \varphi_{\Sigma}$$

для передач с модулем св. 1 мм — один из трех комплексов:

$$\delta_c t, \delta t_{\text{к}\Sigma}, \Delta A_o \text{ и } \Delta g_o \quad \delta_c t, E, \Delta A_o \text{ и } \Delta g_o \quad \delta_{\gamma} a, \delta_o a, \Delta A_o \text{ и } \Delta g_o$$

Показателями плавности работы червячного колеса при модуле до 1 мм является один из трех комплексов:

$$\delta F \quad \delta_c t \quad \delta_{\gamma} a$$

Показателями точности монтажа передачи и контакта боковых поверхностей зубьев колеса и витков червяка являются пятно контакта ΔA , Δg и Δy , а для передач с червячным колесом с модулем до 1 мм и нерегулируемым в осевом направлении, кроме того, Δg_o .

Показателями, характеризующими боковой зазор, являются: для червяка ΔS , для колеса (с модулем до 1 мм) ΔA_o или Δa , для передачи (с модулем до 1 мм) ΔA .

Величины наименьших утонений витка червяка указаны в табл. 1.86 и 1.87 для случая, когда номинальная толщина витка червяка равна номинальной толщине витка инструмента, используемого для окончательной обработки червячного колеса. В случае изменения толщины витка инструмента вследствие переточки наименьшее утонение витка червяка устанавливается с учетом указанного изменения.

Нормы точности червяков в мкм

Степень точности	Обозначения отклонений	Диаметр червяка в мм	Модуль осевой m_t в мм				
			до 0,5	св. 0,5 до 1	св. 1 до 2,5	св. 2,5 до 6	св. 6 до 10
7	$\Delta_B t; \Delta_H t$ $\Delta_B t \Sigma; \Delta_H t \Sigma$ δf	До 400 » 400 » 400	± 8 ± 15 12	± 10 ± 18 15	± 11 ± 20 17	± 14 ± 25 22	± 19 ± 32 30
	E_B	До 6 Св. 6 до 12 » 12 » 25 » 25 » 50 » 50 » 100 » 100 » 200	11 12 14 17 — —	— — — — — —	— — 16 18 20 26	— — — — — —	— — — — — —
8	$\Delta_B t; \Delta_H t$ $\Delta_B t \Sigma; \Delta_H t \Sigma$ δf	До 400 » 400 » 400	± 12 ± 24 20	± 16 ± 28 24	± 18 ± 32 26	± 22 ± 40 36	± 30 ± 50 48
	E_B	До 6 Св. 6 до 12 » 12 » 25 » 25 » 50 » 50 » 100 » 100 » 200	18 20 22 26 — —	— — — — — —	— — 25 28 32 42	— — — — — —	— — — — — —
9	$\Delta_B t; \Delta_H t$ $\Delta_B t \Sigma; \Delta_H t \Sigma$ δf	От 12 до 400 » 12 » 400 » 12 » 400	± 20 ± 38 32	± 25 ± 45 38	± 28 ± 50 42	± 36 ± 60 50	± 48 ± 80 75
	E_B	До 6 Св. 6 до 12 » 12 » 25 » 25 » 50 » 50 » 100 » 100 » 200	28 32 36 42 — —	— — — — — —	— — 40 45 50 65	— — — — — —	— — — — — —

Примечание. $\Delta_B t; \Delta_H t$ — предельные отклонения осевого шага; $\Delta_B t \Sigma; \Delta_H t \Sigma$ — предельные накопленные погрешности осевого шага; δf — допуск на профиль червяка; E_B — допуск на радиальное биение витков червяка

ТАБЛИЦА 1.79

Нормы кинематической точности червячных колес
(линейные в мкм, угловые в с)

Степени точности	Обозначения допусков	Модуль осевой m_t в мм	Диаметр колеса в мм							
			до 12	св. 12 до 20	св. 20 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 200	св. 200 до 320
7	$\delta F_{к\Sigma}$	До 0,5 Св. 0,5 до 1	30 36	34 40	38 44	42 48	48 55	58 65	72 78	90 95
	$\delta t_{к\Sigma}$	До 0,5 Св. 0,5 до 1 » 1 » 30	22 25	24 28	28 32	32 36 40	38 42 50	48 52 60	62 66 75	80 85 90
	E	До 0,5 Св. 0,5 до 1 » 1 » 30	18 22	20 24	22 25	25 28 32	28 34 42	34 40 50	42 46 58	50 55 70
	$\Delta_{вA_0};$ $\Delta_{нA_0}$	Св. 1 до 30					± 19	± 26	± 30	± 36 ± 42
	$\Delta_{вg_0};$ $\Delta_{нг_0}$	Св. 1 до 30					± 19	± 26	± 30	± 36 ± 42
	δ_{0a}	До 0,5 Св. 0,5 до 1	34 38	38 42	40 45	45 48	48 55	55 60	65 70	75 80
	$\delta \varphi_{\Sigma}$	До 1	300	180	140	110	90	80	70	60

Продолжение табл. 1.79

Степени точности	Обозначения допусков	Модуль осевой m_t в мм	Диаметр колеса в мм							
			до 12	св. 12 до 20	св. 20 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 200	св. 200 до 320
3	δF_{Σ}	До 0,5 Св. 0,5 до 1	50 55	52 60	58 65	65 75	75 90	95 100	115 130	140 150
	δt_{Σ}	До 0,5 Св. 0,5 до 1 » 1 » 30	34 38	38 45	45 52	50 58 60	58 65 80	75 85 100	100 105 115	130 140 140
	E	До 0,5 Св. 0,5 до 1 » 1 » 30	28 36	32 38	36 42	40 45 50	45 55 65	55 65 80	66 75 95	80 90 110
	$\Delta_{B A_O}^A$ $\Delta_{H A_O}^A$	Св. 1 до 30				± 30	± 42	± 48	± 55	± 65
	$\Delta_{B g_O}^g$ $\Delta_{H g_O}^g$	Св. 1 до 30				± 30	± 42	± 48	± 55	± 65
	$\delta_o a$	До 0,5 Св. 0,5 до 1 » 1 » 2,5 » 2,5 » 6 » 6 » 10	55 60	60 65	65 70	70 75 75 85 —	80 85 100 105 110	90 100 110 110 115	100 115 120 120 140	120 130 140 150 160
	$\delta \varphi_{\Sigma}$	До 1	480	280	220	180	140	120	110	100

Продолжение табл. 1. 79

Степени точности	Обозначения допусков	Модуль осевой m_t в мм	Диаметр колеса в мм							
			до 12	св. 12 до 20	св. 20 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 200	св. 200 до 320
9	$\delta t_{k\Sigma}$	До 0,5	55	60	70	80	95	120	160	200
		Св. 0,5 до 1	60	70	80	90	105	130	170	210
		» 1 » 30				95	140	170	190	240
	E	До 0,5	45	50	55	60	70	85	105	130
		Св. 0,5 до 1	55	60	65	70	85	105	120	140
		» 1 » 30				80	105	120	150	180
	$\Delta_{вA_o}; \Delta_{нA_o}$	Св. 1 до 30				± 48	± 65	± 75	± 90	± 105
	$\Delta_{вg_o}; \Delta_{нг_o}$	Св. 1 до 30				± 48	± 65	± 75	± 90	± 105
	δ_o^a	До 0,5	90	95	105	110	120	140	160	190
		Св. 0,5 до 1	100	105	115	120	140	160	180	200
		» 1 » 2,5				115	160	180	200	220
		» 2,5 » 6				130	170	180	200	240
		» 6 » 10				—	180	190	220	250
	$\delta \varphi_{\Sigma}$	До 1	750	450	360	280	220	200	180	160

Примечание. $\delta F_{k\Sigma}$ — допуск на кинематическую погрешность колеса; $\delta t_{k\Sigma}$ — допуск на накопленную погрешность окружного шага колеса; E — допуск на радиальное биение зубчатого венца; $\Delta_{вA_o}; \Delta_{нA_o}$ — предельные отклонения межосевого расстояния в обработке; $\Delta_{вg_o}; \Delta_{нг_o}$ — предельные смещения средней плоскости колеса в обработке; δ_o^a — допуск на колебание измерительного межосевого расстояния за оборот колеса; $\delta \varphi_{\Sigma}$ — допуск на погрешность обката (в с).

ТАБЛИЦА 1.80

Степени точности	Обозначения допусков	Модуль осевой m_t в мм	Диаметр колеса в мм							
			до 12	св. 12 до 20	св. 20 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 200	св. 200 до 320
7	δF_k	До 0,5 Св. 0,5 до 1	10 12							
	δ_{ct}	До 1 Св. 1 до 2,5 » 2,5 » 6 » 6 » 10	12	12	14	14 14 17 —	14 15 18 21	16 16 18 22	16 17 20 24	18 19 22 25
	$\delta_{\gamma a}$	До 1	16	17	18	19	20	21	22	25
8	δ_{ct}	До 1 Св. 1 до 2,5 » 2,5 » 6 » 6 » 10	20	20	22	22 22 26 —	22 24 28 34	25 25 30 36	25 26 32 38	28 30 36 40
	$\delta_{\gamma a}$	До 1 Св. 1 до 2,5 » 2,5 » 6 » 6 » 10	26	28	30	30 30 36 —	32 32 38 45	34 34 40 48	36 36 42 50	38 42 48 52
	δ_{ct}	До 1 Св. 1 до 2,5 » 2,5 » 6 » 6 » 10	32	32	36	36 36 42 —	36 38 45 52	40 40 48 55	40 45 50 58	45 50 55 60
9	$\delta_{\gamma a}$	До 1 Св. 1 до 2,5 » 2,5 » 6 » 6 » 10	45	45	50	50 48 55 —	50 50 58 70	55 52 60 75	55 55 65 80	60 65 75 80

Примечание. δF_k — допуск на циклическую погрешность колеса; δ_{ct} — допуск на разность соседних окружных шагов колеса; $\delta_{\gamma a}$ — допуск на колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе.

ТАБЛИЦА 1.83
Наименьшие боковые зазоры c_n в червячной передаче
при модуле до 1 мм в мкм

Виды сопряжений	Межосевое расстояние в мм							
	до 10	св. 10 до 16	св. 16 до 25	св. 25 до 40	св. 40 до 60	св. 60 до 100	св. 100 до 160	св. 160
<i>C</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>D</i>	5	5	6	7	8	10	12	14
<i>X</i>	9	10	12	15	17	20	24	28
<i>Ш</i>	18	22	25	30	34	40	48	55

ТАБЛИЦА 1.84
Гарантированный боковой зазор c_n в червячной передаче
при модуле св. 1 мм в мкм

Вид сопряжения	Межосевое расстояние в мм			
	до 40	св. 40 до 80	св. 80 до 160	св. 160 до 320
<i>C</i>	0	0	0	0
<i>D</i>	28	48	65	95
<i>X</i>	55	95	130	190
<i>Ш</i>	110	190	260	380

ТАБЛИЦА 1.85
Предельные отклонения, регламентирующие толщину зуба
червячного колеса при модуле до 1 мм в мкм

Степени точности	Обозначения отклонений	Модуль осевой m_f в мм	Диаметр колеса в мм							
			до 12	св. 12 до 20	св. 20 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 200	св. 200 до 320
7	$\Delta_{вa}$	До 1	-16	-17	-18	-19	-20	-21	-22	-25
	$\Delta_{на}$	До 0,5 Св. 0,5 до 1	-24 -28	-26 -30	-28 -32	-32 -34	-36 -40	-40 -45	-48 -52	-55 -60
	$\Delta_{вA_o};$ $\Delta_{нA_o}$	До 1	± 12	± 16	± 19	± 22	± 26	± 30	± 36	± 42
8	$\Delta_{вa}$	До 1	-26	-28	-30	-30	-32	-34	-36	-38
	$\Delta_{на}$	До 0,5 Св. 0,5 до 1	-34 -42	-38 -45	-42 -48	-45 -52	-50 -60	-60 -70	-70 -80	-85 -95
	$\Delta_{вA_o};$ $\Delta_{нA_o}$	До 1	± 20	± 25	± 30	± 36	± 42	± 48	± 52	± 65

Продолжение табл. 1.85

Степень точности	Обозначения отклонений	Модуль осевой m_t в мм	Диаметр колеса в мм							
			до 12	св. 12 до 20	св. 20 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 200	св. 200 до 320
9	$\Delta_B a$	До 1	—45	—45	—50	—50	—50	—55	—55	—60
	$\Delta_B a$	До 0,5 Св. 0,5 до 1	—50 —60	—55 —65	—60 —70	—65 —75	—75 —90	—90 —110	—110 —130	—140 —150
	$\Delta_B A_O$; $\Delta_H A_O$	До 1	± 32	± 40	± 48	± 55	± 65	± 75	± 85	± 105

ТАБЛИЦА 1.86

Наименьшее утонение витка червяка Δ_B^S
при модуле до 1 мм в мкм

Степени точности	Вид со-пряжения	Межосевое расстояние в мм							
		до 10	св. 10 до 16	св. 16 до 25	св. 25 до 40	св. 40 до 60	св. 60 до 100	св. 100 до 160	св. 160
7	<i>C</i>	14	16	18	20	22	26	30	34
	<i>D</i>	19	22	25	28	32	36	42	48
	<i>X</i>	24	26	30	34	40	45	52	60
	<i>Ш</i>	32	38	45	50	58	65	75	85
8	<i>C</i>	24	26	28	32	36	40	45	50
	<i>D</i>	30	32	36	40	45	50	55	65
	<i>X</i>	32	36	40	48	52	60	70	80
	<i>Ш</i>	42	48	55	62	70	80	90	105
9	<i>D</i>	45	48	52	58	65	75	85	100
	<i>X</i>	48	52	58	65	75	85	95	110
	<i>Ш</i>	58	65	70	80	90	105	120	140

ТАБЛИЦА 1.87
Наименьшее утонение витка $\Delta_B S$ силовых (нерегулируемых) передач при модуле св. 1 мм в мм

Степени точности		7			8			9														
		Межосевое расстояние в мм																				
Вид сопряжения	Модуль осевой m_t в мм	св. 40 до 80			св. 80 до 160			св. 160 до 320			до 40			св. 40 до 80			св. 80 до 160			св. 160 до 320		
		до 40	св. 40 до 80	св. 80 до 160	св. 160 до 320	до 40	св. 40 до 80	св. 80 до 160	св. 160 до 320	до 40	св. 40 до 80	св. 80 до 160	св. 160 до 320	до 40	св. 40 до 80	св. 80 до 160	св. 160 до 320	до 40	св. 40 до 80	св. 80 до 160	св. 160 до 320	
С	Св. 1 до 2,5	45	55	65	80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	» 2,5 » 6	55	60	70	85	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	» 6 » 10	—	75	85	95	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Д	Св. 1 до 2,5	75	105	130	180	—	105	140	180	—	105	140	180	—	105	140	180	—	105	140	180	—
	» 2,5 » 6	85	110	140	180	—	115	150	180	—	115	150	180	—	115	150	180	—	115	150	180	—
	» 6 » 10	—	120	150	190	—	—	160	200	—	—	160	200	—	—	160	200	—	—	160	200	—
Х	Св. 1 до 2,5	105	150	200	280	—	130	190	250	—	130	190	250	—	130	190	250	—	130	190	250	—
	» 2,5 » 6	110	160	210	280	—	140	200	250	—	140	200	250	—	140	200	250	—	140	200	250	—
	» 6 » 10	—	170	220	280	—	—	210	260	—	—	210	260	—	—	210	260	—	—	210	260	—
Ш	Св. 1 до 2,5	160	250	340	480	—	190	280	380	—	190	280	380	—	190	280	380	—	190	280	380	—
	» 2,5 » 6	170	260	340	480	—	200	300	400	—	200	300	400	—	200	300	400	—	200	300	400	—
	» 6 » 10	—	270	360	480	—	—	320	400	—	—	320	400	—	—	320	400	—	—	320	400	—

П р и м е ч а н и е. Наименьшее утонение витка червяка обеспечивает гарантированный боковой зазор в зубчатой передаче, если отсутствуют: утонение витков инструмента, обрабатывающего зубья червячного колеса, связанное с его переточкой; температурные расширения элементов передачи, нагревающихся в процессе работы; слой смазки.

Примечание. Наименьшее утонение витка червяка обеспечивает гарантированный боковой зазор в зубчатой передаче, если отсутствуют: утонение витков инструмента, обрабатывающего зубья червячного колеса, связанное с его переточкой; температурные расширения элементов передачи, нагреваемых в процессе работы; слой смазки.

ТАБЛИЦА 1.88

Допуск δS на толщину витка червяка в мкм
(поле допуска — в тело червяка)

Вид сопряжения	Модуль осевой m_t в мкм	Предельное радиальное биение витков червяка в мкм								
		св. 10 до 12	св. 12 до 16	св. 16 до 20	св. 20 до 25	св. 25 до 32	св. 32 до 40	св. 40 до 50	св. 50 до 60	св. 60
C	До 1 Св. 1	14 28	17 32	20 34	24 38	28 45	34 50	42 55	— 65	— 80
D	До 1 Св. 1	18 40	21 42	24 45	28 50	34 55	40 60	48 70	— 80	— 95
H	До 1 Св. 1	22 70	25 75	28 75	32 80	38 85	45 90	52 100	— 110	— 130
Ш	До 1 Св. 1	30 100	32 105	32 105	40 110	45 115	52 120	60 130	— 140	— 160

10. ДОПУСКИ НА ЛИНЕЙНЫЕ РАЗМЕРЫ, РАДИУСЫ И ФАСКИ

Определения

Размеры, в том числе линейные, следует разделять на функциональные и нефункциональные (свободные).

Ф у н к ц и о н а л ь н ы м и называются размеры, непосредственно связанные со служебными функциями детали.

Н е ф у н к ц и о н а л ь н ы м и, или с в о б о д н ы м и, называются размеры, которые ни прямо, ни косвенно не влияют на служебные функции детали.

Функциональные размеры могут быть сопряженными и несопряженными.

С о п р я ж е н н ы м и называются размеры, входящие в сопряжение с другими размерами одной или нескольких деталей; к сопряженным относятся также цепные размеры (ГОСТ 16319—70 и ГОСТ 16320—70).

Н е с о п р я ж е н н ы м и ф у н к ц и о н а л ь н ы м и размерами называются размеры, ограничивающие такие поверхности или элементы детали, которые влияют на эксплуатационные свойства детали или косвенно связаны с сопряженными размерами, хотя сами не входят в сопряжение.

Примерами несопряженных функциональных размеров являются: размеры, определяющие профили лопаток турбин и сопел гидравлических систем, диаметры сечения витков пружин, размеры деления шкал и т. п.

Примерами свободных размеров являются: высота уступов, непосадочных мест или не влияющих на качество сопряжения диаметральных размеров, размеры неответственных радиусов скруглений, фасок и пр.

Свободные и функциональные несопряженные размеры могут быть проставлены от технологических баз, не совпадающих с конструктивными.

Свободные и функциональные несопряженные размеры

Согласно ГОСТ 2.307—68 на свободные и функциональные несопряженные размеры следует, как правило, назначать предельные отклонения, за исключениями, указанными на стр. 21. Чтобы не загромождать чертеж обозначениями, величины отклонений на эти размеры иногда оговаривают записями в технических требованиях.

Предельные отклонения предпочтительно назначать по односторонне предельной системе, т. е. как для скользящей посадки; отклоне-

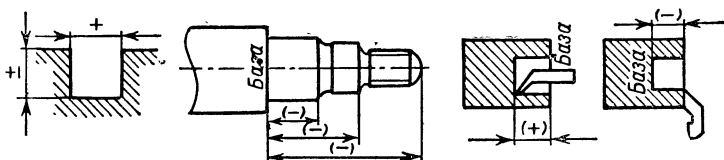


Рис. 1.32

ния направляются в тело детали. Для выступов и впадин знак отклонения определяется в зависимости от базы (рис. 1.32).

Отклонения по симметричной системе, т. е. со знаком \pm (условно обозначаются буквами СМ, см. примечание на стр. 28), назначают в тех случаях, когда размеры не могут быть отнесены к категории «охватывающих» или «охватываемых» (например, для уступов при неопределенности базирования), а также на следующие размеры: между осями и до оси; на размеры деталей, изготавливаемых отливкой и горячей штамповкой; на размеры, определяемые склеиванием деталей и т. д., если такая простановка отклонения определяется требованиями конструкции или технологии.

Номиналы выбираются из рядов нормальных линейных размеров (см. табл. 1.1).

Величина допусков должна преимущественно выбираться по системе допусков ОСТ для гладких изделий.

На ответственные функциональные несопряженные размеры устанавливают допуски для точных классов ОСТ в зависимости от назначения детали и требования технологии. В остальных случаях рекомендуется допуски для несопряженных линейных размеров выбирать не точнее 5-го класса точности ОСТ.

На свободные размеры устанавливают допуски 5, 7 и 8-го классов точности ОСТ для поверхностей, получаемых резанием, холодной штамповкой и точными видами литья.

Допуски 5-го класса точности (а иногда и точнее) назначают в следующих случаях: для деталей приборов, точных машин и аппаратов, на ответственные размеры, влияющие на прочность, вес или дисбаланс деталей, на размеры тонкостенных деталей (например, цилиндров

значительных диаметров), для деталей из пластмасс на размеры, параллельные плоскости разреза пресс-формы, на размеры технологических базовых поверхностей.

Допуски 7-го класса точности назначают для размеров деталей общего и тяжелого машиностроения, на диаметральные размеры холодноштампованных деталей, для деталей из пластмасс на размеры, перпендикулярные плоскости разреза пресс-формы.

Допуски 8-го класса точности назначают на линейные размеры холодноштампованных деталей и на размеры деталей, отлитых под давлением.

Для размеров, полученных после горячей штамповки, вытяжки и гибки в штампах, литьем в выплавляемые формы, в кокиль и т. д., применяют допуски 9, 10-го классов точности ОСТ (и 11-го класса для размеров св. 500 мм, см. табл. 1.3), т. е. 16-го качества ИСО (см. табл. 1.15).

Длины резьбы (включая сберг) рекомендуется ограничивать следующими отклонениями:

Глубина сверления и длина резьбы в мм	Отклонения в мм
До 10	+0,50 -0,25
Св. 10 до 50	+1,0 -0,5

Для диаметров от 0,3 до 1 мм отклонения в глубине сверления $\pm 0,2$ и $-0,1$ мм.

Отклонения нефункциональных размеров радиусов и катетов фасок приводятся в табл. 1.89.

ТАБЛИЦА 1.89

Отклонения размеров радиусов и фасок
(полученных резанием и вырубкой в штампах)

Номинальные размеры в мм	0,2	0,3	0,5	От 1 до 2	Св. 2 до 6	Св. 6 до 12	Св. 12 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30
Отклонения в мм (\pm)	0,1	0,2	0,3	0,5	1	2	3	4	5

ТАБЛИЦА 1.90

Отклонения свободных угловых размеров

Длина меньшей стороны угла в мм	До 3	Св. 3 до 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30
Отклонения (\pm)	3° 30'	3°	2°	1° 30'	1°

Свободные угловые размеры указываются на чертежах, как правило, по симметричной системе со знаком \pm , а отклонения устанавливаются по 9 и 10-й степеням точности ГОСТ 8908—58 (табл. 1.46).

Для углов с небольшими величинами сторон на практике назначают большие допуски согласно табл. 1.90.

11. ОТКЛОНЕНИЯ ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Основные определения

Конфигурация детали полностью определена, если допустимые отклонения заданы на все ее элементы: размеры (глава первая, пп. 4 и 10), форму поверхностей и взаимное расположение поверхностей.

Отклонением формы (по ГОСТ 10356—63) называется отклонение формы реальной (действительной) поверхности или реального профиля от формы геометрической (номинальной) поверхности или геометрического профиля. Эти отклонения разделяются на микрогеометрические, оцениваемые по шероховатости поверхности (глава двенадцатая), и макрогеометрические (см. ниже), кратко называемые отклонениями формы.

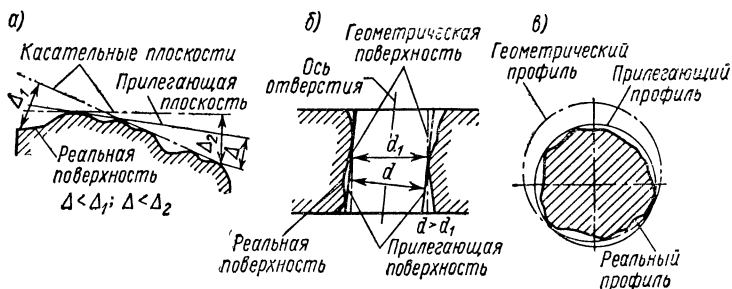


Рис. 1.33


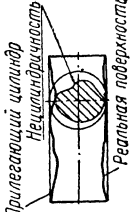

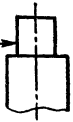


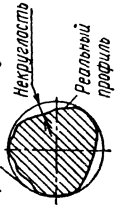



Отклонения формы отсчитываются от прилегающих поверхностей и профилей (исключая элементарные виды некруглости и отклонения профиля продольного сечения). Прилегающая поверхность (профиль) — это геометрическая поверхность (профиль) такого же вида, как и заданная поверхность, соприкасающаяся с реальной поверхностью (профилем) вне материала детали и расположенная так, чтобы расстояние от наиболее удаленной точки реальной поверхности (профиля) до прилегающей поверхности (профиля) было наименьшим (рис. 1.33, а, б, в). Шероховатость поверхности при рассмотрении отклонений формы исключается.


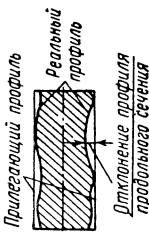
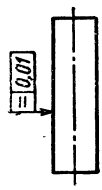

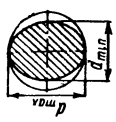
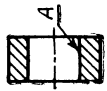
Отклонением расположения (по ГОСТ 10356—63) называется отклонение от номинального расположения рассматриваемой поверхности, ее оси или плоскости симметрии относительно баз или отклонение от номинального взаимного расположения рассматриваемых поверхностей. Базами являются совокупности поверхностей, линий и точек, по отношению к которым определяется расположение рассматриваемой поверхности.

При определении отклонений расположения (кроме радиального и торцового биений) отклонения формы поверхности исключаются. При этом реальные поверхности заменяются прилегающими. В обоснованных случаях допускается нормировать отклонения расположения

ТАБЛИЦА 1.91

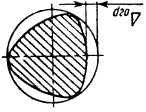

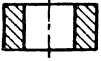
Отклонения формы поверхностей



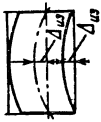
Наименование отклонения и символ	Определение	Примеры указания предельных отклонений формы на чертежах	
		условное обозначение	запись в технических требованиях
<p>Отклонение от цилиндричности (нецилиндричность)</p> <p></p>	<p>1. Цилиндрические поверхности</p> <p><i>Комплексные отклонения формы</i></p> <p>Наибольшее расстояние от точек реальной поверхности до прилегающего цилиндра. Нецилиндричность включает некруглость и отклонение профиля продольного сечения</p> 	 	 <p>Нецилиндричность поверхности <i>A</i> не более 0,01 мм</p>
<p>Отклонение от круглости (некруглость)</p> <p></p>	<p>Наибольшее расстояние от точек реального профиля до прилегающей окружности. Некруглость характеризует совокупность всех отклонений формы поперечного сечения цилиндрической поверхности</p> 	 	 <p>Некруглость поверхности <i>A</i> не более 0,03 мм</p>

<p>Отклонение профиля продольного сечения цилиндрической по- верхности</p> 	<p>Наибольшее расстояние от точек реального профиля до соответствующей стороны прилегающего профиля, образованного двумя параллельными прямыми. Отклонение характеризует совокупность всех отклонений формы в этом сечении</p>  <p>Прилегающий профиль Реальный профиль Отклонение профиля продольного сечения</p>	 <p>0,01</p>	 <p>Отклонение профиля продольного сечения по- верхности A не более 0,01 мм</p>
<p>Овальность</p>	<p>Отклонение, при котором реальный профиль представляет собой овалообразную фигуру, наибольший и наименьший диаметры которой взаимно перпендикулярны. За величину овальности $\Delta_{ов}$ принимается разность между наибольшим и наименьшим диаметрами сечения $d_{\max} - d_{\min}$. т. е. удвоенная величина некруглости</p> 	<p>—</p>	 <p>Овальность поверхности A не более 0,02 мм</p>

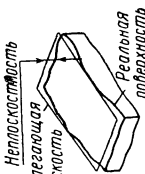
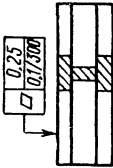
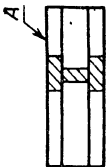

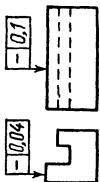

Элементарные отклонения формы

Продолжение табл. 1.91

Наименование отклонения и символ	Определение	Примеры указания предельных отклонений формы на чертежах	
		условное обозначение	запись в технических требованиях
Огранка	<p>Отклонение, при котором реальный профиль представляет собой многогранную фигуру. Количественно огранка оценивается так же, как некруглость</p> 	—	Огранка поверхности A не более 0,01 мм
Конусообразность	<p>Отклонение, при котором образующие продольного сечения прямолинейны, но не параллельны. За величину конусообразности $\Delta_{\text{кон}}$ принимается разность между наибольшим и наименьшим диаметрами продольного сечения $d_{\text{max}} - d_{\text{min}}$, т. е. удвоенная величина отклонения профиля продольного сечения</p> 	—	 <p>Конусообразность от- верстия не более 0,02 мм</p>

Бочкообразность	<p>Отклонение, при котором образующие непрямолинейны, и диаметры увеличиваются от краев к середине сечения. За величину бочкообразности $\Delta_{\text{бочк}}$ принимается разность (аналогично конусообразности) $d_{\text{max}} - d_{\text{min}}$</p> 	—	Бочкообразность поверхности не более 0,05 мм
Седлообразность	<p>Отклонение, при котором образующие непрямолинейны и диаметры уменьшаются от краев к середине сечения. За величину седлообразности $\Delta_{\text{седл}}$ аналогично конусообразности принимается разность $d_{\text{max}} - d_{\text{min}}$</p> 	—	Седлообразность поверхности не более 0,05 мм
Изогнутость	<p>Непрямолинейность геометрического места центров поперечных сечений. Количественно изогнутость $\Delta_{\text{из}}$ оценивается так же, как отклонение профиля продольного сечения</p> 	—	<p>Изогнутость поверхности (обозначение по чертежу) не более 0,01 мм</p> <p>Примечание. Рассматриваемая поверхность отмечается на чертеже буквой (А, В и т. д.), как это указано выше, и дается ссылка на эту букву в тексте; это относится также к указанию бочкообразности и седлообразности</p>

Продолжение табл. 1.91

Наименование отклонения и символ	Определение	Примеры указания предельных отклонений формы на чертежах	
		запись в технических требованиях	
2. Плоские поверхности <i>Комплексные отклонения формы</i>			
Отклонение от плоскостности (неплоскостность)	Наибольшее расстояние от точек реальной поверхности до прилегающей плоскости 	  <p>Неплоскостность поверхности <i>A</i> не более 0,25 мм на всей длине и не более 0,1 мм на длине 300 мм</p>	
Отклонение от прямолинейности (непрямолинейность)	Наибольшее расстояние от точек реального профиля до прилегающей прямой 	  <p>Непрямолинейность поверхности <i>A</i> в поперечном направлении не более 0,04 мм, в продольном направлении не более 0,1 мм</p>	

Элементарные отклонения формы

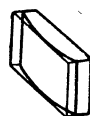
Вогнутость

Отклонение, при котором удаление точек реальной поверхности (профиля) от прилегающей плоскости (прямой) увеличивается от краев к середине



Выпуклость

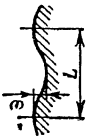
Отклонение, при котором удаление точек реальной поверхности (профиля) от прилегающей плоскости (прямой) уменьшается от краев к середине



Неплоскостность поверхности A не более $0,004$ мм, вогнутость не допускается

Продолжение табл. 1.91

Наименование отклонения и символ	Определение	Примеры указания предельных отклонений формы на чертежах	
		условное обозначение	запись в технических требованиях
<p>Отклонение формы профиля (комплексное)</p>	<p><i>Профили любой формы [9]</i></p> <p>Отклонение ϕ формы любого профиля определяется: по наибольшему расстоянию от точек реального профиля до прилегающего профиля (a) и по расстоянию между двумя эквидистантными профилями, внутри зоны которых полностью заключен реальный профиль (b). Прилегающий и эквидистантные профили имеют такую же форму, как номинальный, и отклонения определяются по нормам к последнему. Может быть задано дополнительное условие на расположение реального профиля от базы</p> <div data-bbox="637 842 906 1034"> <p>а) Прилегающий профиль</p> <p>б) Эквидистантные профили</p> </div>	<p>—</p>	<div data-bbox="526 215 688 391"> </div> <p>Отклонение профиля Δ не более 0,05 мм</p>

<p>Волнистость (элементарное отклонение)</p>	<p>Отклонение ϕ от прямолинейности или от любой заданной формы поверхности, имеющее характер периодических возвышений и впадин. Шаг волн L должен превышать базовую длину по ГОСТ 2789—73 (см. гл. 12). Допуск формы устанавливается на максимальную высоту волны, измеренную на половине длины окружности или на длине более 10 мм</p> 	<p>—</p>	<p>Волнистость поверхности (обозначение по чертежу) не более 0,01 мм при шаге волн 5 мм</p>
--	---	----------	---

П р и м е ч а н и я

1. При условном обозначении отклонений формы (нецилиндричности, некрутости, отклонения профиля продольного сечения, неплоскостности и непрямолинейности) в прямоугольной рамке указаны: в первой части рамки — символ отклонения, во второй — предельное отклонение в миллиметрах.
2. Предельное отклонение, указанное в рамке, относится ко всей длине (или площади) поверхности. Если предельное отклонение относится к любому участку поверхности заданной длины (или площади), то заданная длина (или площадь) указывается рядом с предельным отклонением и отделяется от него наклонной чертой. При необходимости назначать предельные отклонения на всей длине поверхности и на заданной длине отклонение на заданной длине указывается под отклонением на всей длине (см. обозначение предельных отклонений от плоскостности).
3. Рамка с данными об отклонениях формы соединяется с элементом, к которому относится предельное отклонение, прямой или ломаной линией, заканчивающейся стрелкой.

и формы совместно, например непараллельность и перпендикулярность совместно с неплоскостью.

Отклонения и допуски расположения характеризуют координацию двух или нескольких поверхностей детали, а отклонения и допуски формы характеризуют правильность одной поверхности.

Отклонения формы, классификация, обозначения и допуски

Отклонения формы подразделяются на однопараметрические (элементарные) и комплексные.

Элементарные отклонения формы (вогнутость, выпуклость, овальность и пр.) характеризуют отдельные простейшие виды отклонений формы поверхности или профиля, а комплексные (неплоскостность, нецилиндричность, некруглость и пр.) — совокупности любых отклонений формы поверхности или профиля.

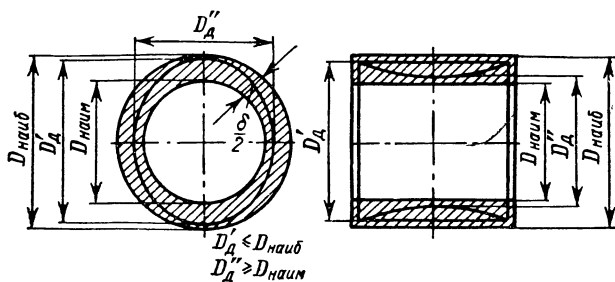


Рис. 1.34

В табл. 1.91 приводятся классификация и определения основных видов отклонений формы, установленные ГОСТ 10356—63, а также символы и условные обозначения отклонений формы по ГОСТ 2.308—68.

Принято считать (ГОСТ 10356—63, п. 31), что при отсутствии указаний о предельных отклонениях формы и отклонениях от параллельности эти отклонения должны находиться в пределах допуска δ размера соответствующей поверхности, т. е. в границах предельных контуров детали (рис. 1.34).

На рис. 1.34 обозначены диаметры: наибольший $D_{\text{наиб}}$; наименьший $D_{\text{наим}}$ и действительные D'_d и D''_d реальной поверхности.

По условиям работы и изготовления детали допуски формы могут составлять часть (как правило, не менее 10—25% [6]) допуска размера и в этих случаях применяют обозначения, указанные в табл. 1.91.

По ГОСТ 10356—63 для ограничения отклонений формы установлено 10 степеней точности. Предельные отклонения формы приведены в табл. 1.92 и 1.93. При назначении предельных отклонений формы цилиндрических поверхностей рекомендуется, чтобы нецилиндричность деталей, подвергающихся сортировке на группы, не превышала допуска группы, и нецилиндричность деталей, размеры которых аттестуются (установочные, образцовые детали и др.), не превышала половины пре-

ТАБЛИЦА 1.92

Предельные отклонения формы цилиндрических поверхностей
(по ГОСТ 10356—63)

Интервалы номинальных диаметров в мм		Степени точности									
		Предельные отклонения в мкм									
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
		0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20
До 6		0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20
Св. 6 до 18		0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30
» 18 » 50		0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40
» 50 » 120		0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50
» 120 » 260		1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60
» 260 » 500		1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80
» 500 » 800		1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100
» 800 » 1250		2	3	5	8	12	20	30	50	80	120
» 1250 » 2000		2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160

Примечание. Приведенные величины должны непосредственно использоваться в качестве предельных значений нецилиндричности, некруглости, отклонения профиля продольного сечения, огранки, изогнутости. Для получения предельных значений овальности, конусообразности, бочкообразности и седлообразности указанные величины должны удваиваться с последующим округлением результата до ближайшего предпочтительного числа, приведенного в этой таблице.

ТАБЛИЦА 1.93

Предельные отклонения от плоскостности и прямолинейности
(по ГОСТ 10356—63)

Интервалы номинальных длин в мм	Степени точности											
	Предельные отклонения в мкм											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI*	XII*
До 10	0,25	0,4	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	60
Св. 10 до 25	0,4	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	100
» 25 » 60	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	160
» 60 » 160	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	250
» 160 » 400	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	400
» 400 » 1 000	2,5	4	6	10	16	25	40	50	100	160	250	600
» 1 000 » 2 500	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	1000
» 2 500 » 6 300	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1600
» 6 300 » 10 000	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1000	2500

Примечания:

1. Допускается нормирование плоскостности числом пятен на заданной площади при контроле «на краску».
2. Знаком * отмечены степени точности по БВ-РТМ—62—71.

дельной погрешности аттестации. Если длина цилиндрической поверхности больше ее диаметра в 2—5 или более 5 раз, то допуск формы рекомендуется устанавливать соответственно на одну или две степени грубее, чем при отношении длины к диаметру до 2—3 [6].

В редких случаях отклонения формы превышают допуск δ размера, например из-за деформации тонких стенок детали (в сборке деталь обычно принимает правильные размеры); подобные допуски формы указывают на рабочих чертежах в виде двух отклонений, например «овальность $+0,010$, $-0,015$ ». Указанные числа означают отклонения вне предельного контура детали (гл. 1, п. 1, стр. 17).

Переход от суммарного (комплексного) нормирования отклонений к раздельному (дифференцированному) нормированию составляющих отклонений формы цилиндрических поверхностей рекомендуется производить в соответствии с табл. 1.94, причем составляющие элементарные отклонения должны быть на одну степень точнее заменяемого комплексного отклонения.

ТАБЛИЦА 1.94

Примеры замены комплексных отклонений формы составляющими отклонениями [6]

Комплексное отклонение формы	Заменяющие комплексы элементарных отклонений формы
Нецилиндричность	Непостоянство диаметров поверхностей
	Нечетная огранка
	Изогнутость
Некруглость	Непостоянство диаметров поперечного сечения
	Нечетная огранка
Отклонение профиля продольного сечения	Непостоянство диаметров продольного сечения
	Изогнутость

Отклонения расположения, классификация, обозначения и допуски

Следует различать допуски расположения следующих видов.

1. Независимые — допуски, величина которых определяется только заданным предельным отклонением расположения и не зависит от действительных отклонений размеров рассматриваемых поверхностей.

2. **Зависимые** — допуски, величина которых зависит не только от заданного предельного отклонения расположения, но и от действительных отклонений размеров рассматриваемых поверхностей. Зависимые допуски ограничивают отклонения расположения при размерах координируемых поверхностей, соответствующих максимуму материала детали (глава первая, п. 1), т. е. при наименьших предельных размерах отверстий и наибольших предельных размерах валов. Допускается превышение проставленных на чертеже предельных отклонений расположения за счет отклонений от предельных действительных размеров координируемых поверхностей.

3. **Разностные** (нестандартизованные) — допуски, ограничивающие разность отклонений расположения поверхностей повторяющихся элементов детали.

Одни и те же типовые отклонения расположения могут быть ограничены допусками независимыми, зависимыми и разностными, как, например, при размерах, определяющих положение осей отверстий. Так, если предельные отклонения δ на размер L между осями двух отверстий заданы как независимый допуск ($L \pm \delta$), то действительные значения отклонений расположения Δ_d при любых диаметрах отверстий, выполненных в свою очередь в пределах заданных допусков, не должны превышать δ ($\Delta_d \leq \delta$). При зависимом допуске предельные отклонения расположения для тех же размеров ограничивают возможные погрешности размера L в случае, когда диаметры обоих отверстий выполнены минимальными (в пределах заданных допусков на диаметры), т. е. при максимуме материала детали (гл. 1, п. 1). Действительные отклонения расположения Δ_d могут возрасти за счет действительных отклонений

диаметров отверстий и достигнуть значения $\Delta + \frac{\delta_1 + \delta_2}{2}$, где δ_1 и

δ_2 — допуски на диаметры 1 и 2-го отверстий, если последние выполнены максимальными. При этом такое возрастание $\Delta_{\text{доп}}$ не нарушит собираемости и взаимозаменяемости двух планок с отверстиями, куда входят штифты, пальцы, оси и т. п. [3, 9].

Указанное относится к полной взаимозаменяемости сопряжений, если допуски расположения рассчитаны за счет минимального зазора посадок осей в отверстия планок (подробнее см. стр. 256). Аналогичное расширение зависимых допусков имеет место для других типовых отклонений (несоосность, перпендикулярность и т. п.).

При разностных допусках отклонения определяются по разности между действительными размерами одноименных элементов (пазов, выступов и т. п.) или между действительными отклонениями расположения таких же элементов детали.

Примеры трех видов допусков расположения приведены в табл. 1.95.

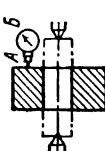
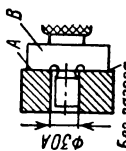

Отклонения расположения взаимодействуют с отклонениями линейных размеров и формы поверхностей.

При любом виде допусков расположения обязательна предварительная проверка правильности линейных размеров координируемых поверхностей, что осуществляется предельными калибрами или заменяющими средствами контроля или измерения, за исключением совмещенного контроля (стр. 256).

Иначе обстоит дело с отклонениями формы. Независимые и разностные допуски расположения, как правило, назначаются и прове-

ТАБЛИЦА 1.95

Характеристика видов допусков расположения

Допуск расположе- ния	Влияние отклонений расположения на экс- плуатационные каче- ства	Метод проверки	Пример	Эскиз и пояснение
Независи- мый	На динамические факторы (скорость, ускорение, удары и пр.)	С помощью показы- вающих средств изме- рения	Торцовое биение	<p>Биение тор- ца <i>A</i> относи- тельно оси отверстия не более 0,05 мм. Проверка на оправке по индикатору <i>B</i></p> 
Зависимый	Статическое воздей- ствие. Влияют на со- бираемость (неподвиж- ное соединение) и на взаимозаменяемость (подвижное соедине- ние)	С помощью калиб- ров для контроля рас- положения (комплекс- ных), являющихся прототипом сопряжен- ной детали	Неперпендику- лярность	<p>Неперпенди- кулярность торца <i>A</i> отно- сительно оси отверстия (ми- нимального диаметра) не более 0,03 мм. Проверка на входимость комплексным калибром <i>B</i></p> 
Разностный	На плавность рабо- ты, равномерную пе- редачу усилий и пр.	С помощью показы- вающих средств изме- рения	Неперпендику- лярность повторя- ющихся элементов	<p>Биение торцов <i>A</i> зубьев относи- тельно оси отверстия не более 0,1 мм. Разность значений биения соседних зубьев не более 0,05 мм</p> 

ряются по отдельным типовым погрешностям, т. е. являются однопараметрическими. Однако в силу трудности независимого измерения отклонения расположения иногда определяются совместно с другими накладываются погрешностями расположения (например, непараллельность совмещается с погрешностью в расстоянии между осями) или формы. Отклонения формы можно выделить из отклонений расположения при независимых допусках (глава десятая). Метод обработки отклонений от круглости, выделяемых из данных измерений биения, позволяет определить центр и радиус средней окружности поверхности вращения и выделить отклонения формы. Таким образом можно найти величину несоосности (эксцентриситета) в чистом виде. Этот же метод предусматривает также нахождение центра и радиуса прилегающей окружности [4]. Зависимые допуски расположения, хотя и назначаются обычно (из-за стандартных обозначений и т. д.) на отдельные типовые погрешности, по существу являются комплексными допусками первого порядка, включающими отклонения формы, или второго порядка, включающими еще отклонения расположения других типов, кроме предусмотренного. Ограничение более определенным типом отклонения расположения следует обеспечивать конструкцией комплексного калибра (глава вторая, п. 7).

Зависимые допуски (предельные отклонения) расположения поверхностей на чертежах обозначают знаком \textcircled{M} , который помещают после предельного отклонения, или в тексте указывают: «*допуск зависимый*». Зависимые допуски, равные нулю (отклонения расположения допускаются только за счет недоиспользованных полей допусков размеров), обязательно указывают в чертежах, причем в обозначении ставят 0 (нуль) вместо предельного отклонения (БВ-РТМ-62—71). Когда не указан вид допуска расположения, его считают независимым. Если зависимые допуски расположения составляют большинство, то независимые допуски разрешается обозначать знаком \textcircled{S} , и в технических требованиях делать запись, например: «*Все предельные отклонения от соосности и симметричности зависимые, кроме обозначенных знаком \textcircled{S}* » (пп. 12 и 13, ГОСТ 2.308—68). В табл. 1.96 приводятся определения и обозначения основных отклонений расположения согласно ГОСТ 10356—63, ГОСТ 2.307—68, ГОСТ 2.308—68 и работе [9].

В определении зависимого допуска расположения применено понятие контура максимума материала элементов детали, так как поле допуска расположения заключено между предельным контуром проходной стороны (глава первая, п. 1) и контуром положения элемента детали. Контуром положения (опорным) называется контур, эквидистантный и внешний по отношению к предельному проходному контуру (контуру максимума материала). Контур положения ограничивает максимально допустимые взаимные смещения координируемых поверхностей элементов реальной детали (даже с учетом смещений поверхностей за счет использования отклонений в координируемых линейных и угловых размерах).

На рис. 1.35 указаны контуры положения (очерчены штрих-пунктиром с двумя точками) и контуры максимума материала детали (очерчены жирно). Действительные размеры и форма поверхностей не должны выходить за границы предельных контуров (т. е. лежать вне максимума

и минимума материала), так как подобные искажения, не учтенные при контроле, сокращают поле допуска расположения.

Применение понятия контура положения облегчает проектирование комплексных калибров, особенно многоступенчатых. Номинальный контур этих калибров является контуром положения детали.

Зависимые допуски расположения имеют ряд преимуществ. Проверка отклонений комплексным калибром производительнее и проще, чем измерение собственных погрешностей расположения измерительными приспособлениями и приборами. Некоторые типы отклонений: в расположении отверстий небольших диаметров (несоосность, непараллельность осей), в симметричности многоступенчатых элементов, в координации ряда поверхностей многосопряженной детали и т. п. проконтролировать весьма сложно, если предписаны независимые допуски.

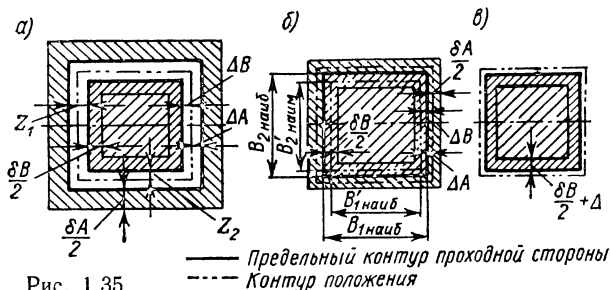


Рис. 1.35

Зависимые допуски расположения легче выдержать в производстве, так как действительные отклонения расположения можно компенсировать за счет отклонений размеров координируемых поверхностей.

В ряде случаев комбинируют зависимые и независимые допуски: например, для наружных поверхностей детали устанавливают независимые допуски, а для сопряженных внутренних поверхностей второй детали — зависимые допуски. Наконец, для уменьшения действительных отклонений при зависимых допусках можно применить сборку с подбором.

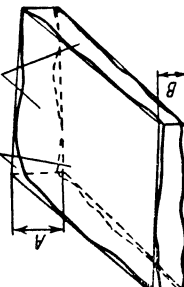
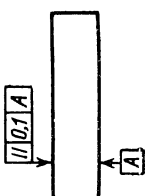

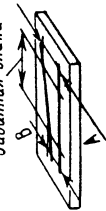
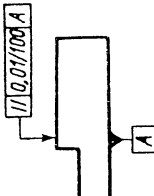
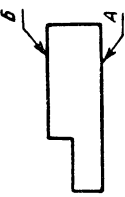
Везде, где возможно, следует назначать зависимые допуски расположения, которые широко применяются в точном машиностроении, приборостроении и точной механике, в деталях небольших и средних габаритов.

Для ограничения радиального биения (несоосности и несимметричности, если они оговариваются независимым допуском) предусмотрено 10 степеней точности по ГОСТ 10356—63 (табл. 1.97). Допуски на непараллельность, перпендикулярность и торцовое биение (по 12 степеням точности) даны в табл. 1.98. Способы обработки для получения степеней точности на непараллельность, перпендикулярность и торцовое биение поверхностей (по ГОСТ 10356—63) приведены в работе [6].

Ограничения технологического рассеивания отклонений формы и расположения частью допуска размера (технологические допуски) оговариваются в технологической документации (ГОСТ 3.1102—70, ГОСТ 3.1104—71) и их контроль необязателен для приемки деталей (БВ-РТМ-62—71).

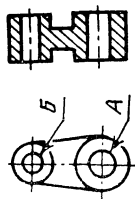
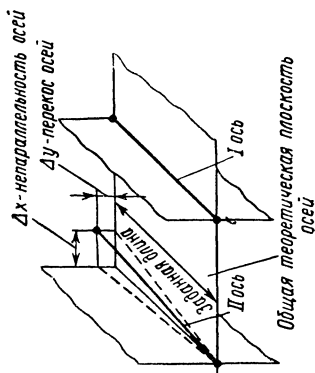
ТАБЛИЦА 1.96

Отклонения расположения поверхностей

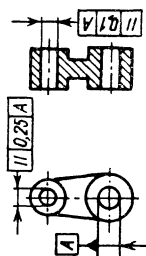
Наименование отклонения и символ	Определение	Примеры указания предельных отклонений расположения на чертежах		запись в технических требованиях
		условное обозначение		
Отклонение от параллельности (непараллельность) //	<p>Непараллельность плоскостей: разность $A \rightarrow B$ наибольшего и наименьшего расстояний A и B между прилегающими плоскостями на заданной площади или длине</p>  <p>Прилегающие плоскости Реальные поверхности</p>		 <p>Непараллельность поверхностей A и B не более $0,1$ мм</p>	
	<p>Непараллельность прямых в плоскости: разность $A \rightarrow B$ наибольшего и наименьшего расстояний A и B между прилегающими прямыми на заданной длине</p>  <p>Заданная длина</p>		 <p>Непараллельность поверхности B относительно поверхности A не более $0,01$ мм на длине 100 мм</p>	

Непараллельность осей поверхностей вращения (или прямых в пространстве): непараллельность проекций осей Δx на их общую теоретическую плоскость, проходящую через одну ось и одну из точек другой оси.

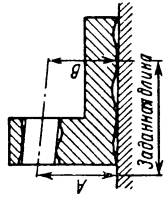
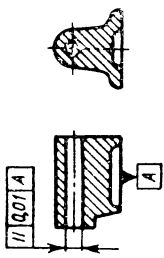
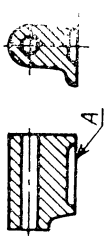
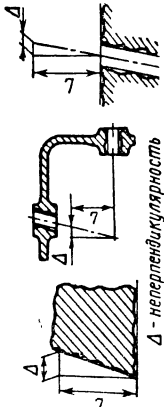
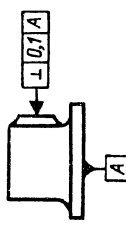
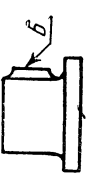
Перекося осей (или прямых в пространстве): непараллельность проекций осей Δy на плоскость, перпендикулярную к общей теоретической плоскости и проходящую через одну из осей.


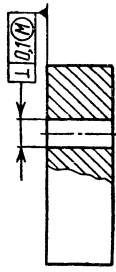
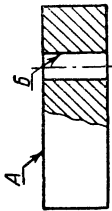
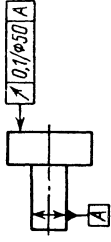
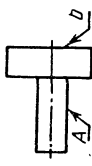


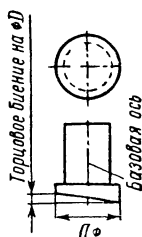
Непараллельность оси отверстия B относительно оси отверстия A не более 0,1 мм, перекося оси — не более 0,25 мм



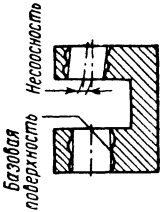
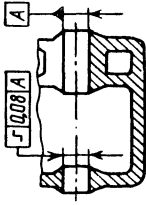
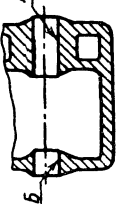
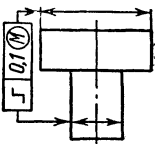
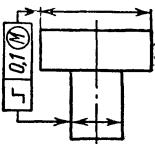
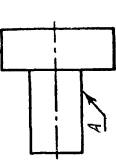
Продолжение табл. 1.96

Наименование отклонения и символ	Определение	условное обозначение	Примеры указания предельных отклонений расположения на чертежах	запись в технических требованиях
Отклонение от параллельности (непараллельность)	<p>Непараллельность осей поверхностей вращения и плоскости: разность $A-B$ наибольшего и наименьшего расстояний A и B между принадлежащей плоскостью и осью поверхности вращения на заданной длине</p> 		 <p>Непараллельность осей отверстий относительно поверхности A не более 0,01 мм</p>	
Отклонение от перпендикулярности (неперпендикулярность)	<p>Неперпендикулярность плоскостей, осей или осей и плоскости: отклонение угла Δ между плоскостями, осями или осью и плоскостью от прямого угла (90°), выраженное в линейных единицах на заданной длине L</p>  <p>Δ - неперпендикулярность L - заданная длина</p>		 <p>Неперпендикулярность поверхности B относительно осевания не более 0,1 мм</p>	

<p>Торцовое биеение</p> 	<p>Разность наибольшего и наименьшего расстояний от точек реальной торцовой поверхности, расположенных на окружности заданного диаметра, до плоскости, перпендикулярной к базовой оси вращения; если $\varnothing D$ не задан, то торцовое биеение определяется на наибольшем $\varnothing D$ торцовой поверхности. Включает как перпендикулярность торцовой поверхности к базовой оси, так и отклонения формы этой же поверхности по линии измерения</p>		 <p>Неперпендикулярность оси отверстия B относительно поверхности A не более 0,1 мм (допуск зависимый)</p>
		 <p>Торцовое биеение поверхности B относительно оси поверхности A не более 0,1 мм на диаметре 50 мм</p>	

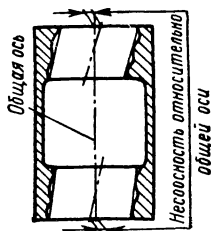


Продолжение табл. 1.96

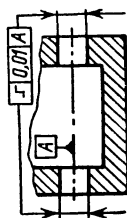
Наименование отклонения и символ	Определение	условное обозначение	Примеры указания предельных отклонений расположения на чертежах	запись в технических требованиях
Отклонение от соосности (несоосность)	<p>Несоосность относительно базовой поверхности: наибольшее расстояние между осью рассматриваемой поверхности и осью базовой поверхности на всей рассматриваемой поверхности или расстояние между этими осями в данном сечении</p> 		 <p>Несоосность отверстия <i>B</i> относительно отверстия <i>A</i> не более 0,08 мм</p>	
			 <p>Несоосность поверхностей <i>A</i> и <i>B</i> не более 0,1 мм (допуск зависимый)</p>	

Несоосность относительно общей оси: наибольшее расстояние от оси рассматриваемой поверхности до общей оси двух или нескольких номинально соосных поверхностей вращения в пределах длины рассматриваемой поверхности

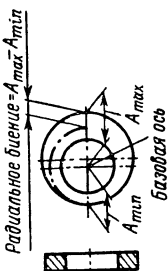
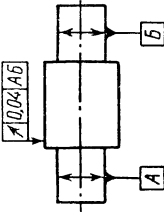
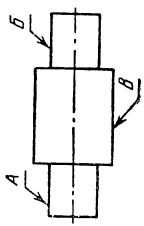
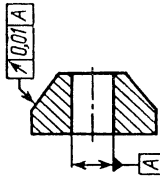
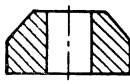
Общей осью двух или нескольких поверхностей при контроле соосности калибром (допуск зависимый) является ось калибра. За общую ось двух поверхностей при контроле соосности универсальными средствами измерения принимается прямая, проходящая через эти оси в средних сечениях рассматриваемых поверхностей

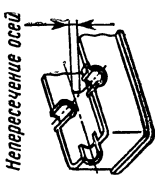
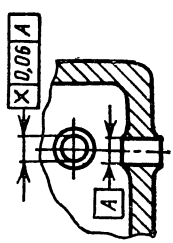
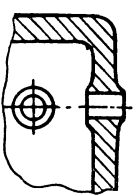
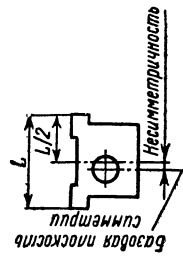
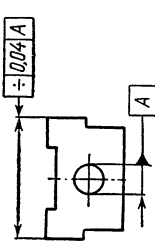

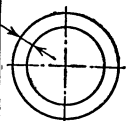


Несоосность отверстий относительно общей оси не более 0,01 мм


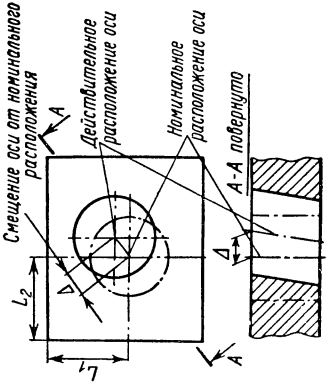
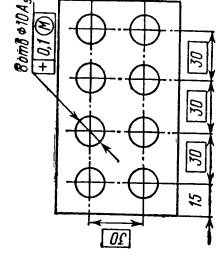
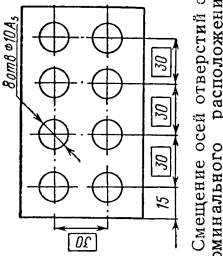


Продолжение табл. 1.96

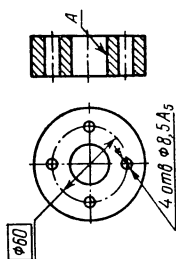
Наименование отклонения и символ	Определение	Примеры указания предельных отклонений расположения на чертежах	
		условное обозначение	запись в технических требованиях
<p>Радiallyное биение</p> 	<p>Разность A_{\max} — A_{\min} наибольшего и наименьшего расстояний от точек реальной поверхности до базовой оси вращения в сечении, перпендикулярном к этой оси. Является результатом смещения центров и некруглости</p>		 <p>Радiallyное биение поверхности B относительно общей оси поверхностей A и B не более $0,04$ мм</p>
	<p>Для поверхности вращения, образующая которых непараллельна базовой оси (например, конических) оговаривается биение в направлении, перпендикулярном к рассматриваемой поверхности</p>		 <p>Биение конуса относительно оси отверстия в направлении, перпендикулярном к образующей конуса, не более $0,01$ мм</p>

<p>Отклонение от пересечения осей (непересечение осей)</p> <p>×</p>	<p>Кратчайшее расстояние между осями, номинально пересекающимися</p> <p><i>Непересечение осей</i></p> 		 <p>Непересечение осей отверстий не более 0,06 мм</p>
<p>Отклонение от симметричности</p> <p>÷</p>	<p>Наибольшее расстояние между плоскостью симметрии (осью симметрии) рассматриваемой поверхности и плоскостью симметрии (осью симметрии) базовой поверхности</p> <p><i>Базовая плоскость симметрии</i></p>  <p><i>Несимметричность</i></p>		 <p>Несимметричность поверхностей <i>B</i> относительно оси отверстия не более 0,04 мм</p>
<p>Разностенность</p>	<p>Наибольшая разность в толщине стенок детали номинально равной толщины, определяемая в продольных сечениях нормально к реальной поверхности [9]</p> <p>Примечание. Разностенность может быть заменена радиальным бонием для цилиндрических поверхностей</p>	<p><i>Разностенность до 0,03</i></p> 	<p>Разностенность толщины 5 мм не более 0,03 мм*</p>

Продолжение табл. 1.96

Наименование отклонения и символ	Определение	Примеры указания предельных отклонений расположения на чертежах	
		условное обозначение	запись в технических требованиях
<p>Смещение осей от номинального расположения</p> 	<p>Наибольшее расстояние между действительным и номинальным расположением осей (или плоскости симметрии) на всей длине рассматриваемой поверхности</p> 		 <p>Смещение осей отверстий от номинального расположения не более 0,1 мм (допуск зависимый)</p>

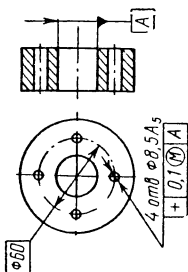
Если заданы базы, то номинальное расположение определяется относительно баз



Смещение осей отверстий от номинального расположения не более 0,1 мм

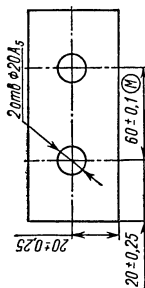
База — отверстие A (допуск зависимый)

Примечание. В прямоугольных рамках указываются линейные и угловые размеры, определяющие номинальное расположение осей



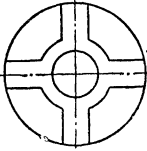
Отклонения размеров, координирующих оси в системе прямоугольных (или полярных) координат

Отклонения размеров, координирующих оси



Предельные отклонения размеров между осями двух лубых отверстий $\pm 0,35$ мм
Смещение осей отверстия от плоскости A не более 0,18 мм.
Допуск зависимый

Продолжение табл. 1.96

Наименование отклонения и символ	Определение	Примеры указания предельных отклонений расположения на чертежах	
		условное обозначение	запись в технических требованиях
Отклонения размеров, определяющих расположение нескольких одноименных элементов одной детали в пределах части поля допуска (разностный допуск) [9]		—	 <p>Всечение торцов <i>A</i> зубьев относительно оси отверстия не более 0,1 мм. Разность значений биения соседних зубьев не более 0,05 мм</p>

П р и м е ч а н и я:

1. При условном обозначении отклонения расположения в прямоугольной рамке указаны: в первой части рамки — символ отклонения, во второй — предельное отклонение в миллиметрах, в третьей — буквенное обозначение базы или другой поверхности, к которой относится отклонение расположения; если баз несколько, то вписывают все их обозначения.

2. Рамка с данными об отклонениях расположения соединяется с элементом, к которому относится предельное отклонение, и с базой прямыми или ломаными линиями, заканчивающимися стрелкой (у элемента) и зачерченным треугольником (у базы). Когда соединение рамки с базой или с другой поверхностью, к которой относится отклонение расположения, затруднено или затемяет чертеж, то поверхность обозначается прописной буквой, вписываемой в третью часть рамки. Если базой является ось центровых отверстий, то рядом с обозначением базовой оси делают надпись: «Ось центров».

3. См. примечание 2 к табл. 1.91.

ТАБЛИЦА 1.97

Предельные значения радиального биения
(по ГОСТ 10356—63)

Интервалы номинальных диаметров в мм		Степень точности															
		Предельные значения в мкм															
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI *	XII *	XIII *	XIV *	XV *	XVI *		
Св. До 6 6 до 18 » 18 » 50 » 50 » 120 » 120 » 260 » 260 » 500 » 500 » 800 » 800 » 1250 » 1250 » 2000	—	—	3	5	8	12	20	30	50	80	200	320	500	800	1200		
	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	240	400	600	1000	1600		
	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	320	500	800	1200	2000		
	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	400	600	1000	1600	2400		
	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	500	800	1200	2000	3200		
	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	600	1000	1600	2400	4000		
	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	800	1200	2000	3200	5000		
	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	1000	1600	2400	4000	6000		
	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	1200	2000	3200	5000	8000		

Примечания:

1. Способы обработки для получения степеней точности I—IV — тонкое шлифование, алмазная обточка, суперфиниширование, хонингование, доводка; V и VI — нормальное шлифование и тонкое обтачивание; VII и VIII — грубое шлифование и нормальное обтачивание; VIII—X — грубое обтачивание.

2. Для получения предельных значений несоосности и несимметричности, если они оговариваются независимым допуском, указанные величины должны уменьшаться вдвое с последующим округлением результата до ближайшего числа, приведенного в таблице.

3. Знаком * отмечены степени точности для несоосности, пересечения осей, несимметричности по БВ-РТМ-62—71.

П р и м е ч а н и я:

1. Способы обработки для получения степеней точности I—IV — тонкое шлифование, алмазная обточка, суперфинишрование, хонингование, доводка; V и VI — нормальное шлифование и тонкое обтачивание; VII и VIII — грубое шлифование и нормальное обтачивание; VIII—X — грубое обтачивание.

2. Для получения предельных значений несоосности и несимметричности, если они оговариваются независимым допуском, указанные величины должны уменьшаться вдвое с последующим округлением результата до ближайшего числа, приведенного в таблице.

3. Знаком * отмечены степени точности для несоосности, пересечения осей, несимметричности по БВ-РТМ-62—71.

ТАБЛИЦА 1.98
Предельные отклонения от параллельности и перпендикулярности и предельные значения торцового биения
(по ГОСТ 10356—63)

Интервалы номинальных размеров в мм	Степени точности											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
	XVI *	XIV ~	XIII ~	XII ~	XI ~	X ~	IX ~	IX ~	X ~	XI ~	XII ~	XIII ~
Предельные отклонения в мкм												
До 10	0,4	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60
Св. 10 до 25	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100
» 25 » 60	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160
» 60 » 160	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250
» 160 » 400	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400
» 400 » 1 000	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600
» 1 000 » 2 500	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1 000
» 2 500 » 6 300	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1 000	1 600
» 6 300 » 10 000	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1 000	1 600	2 500

Примечания:

1. Под номинальным размером понимается длина, на которой задается предельное отклонение от параллельности и перпендикулярности, или диаметр, на котором задается предельное торцовое биение.
2. При отсутствии указаний о предельных отклонениях от параллельности эти отклонения ограничиваются полем допуска на расстояние между поверхностями, их осями или плоскостями симметрии.
3. Знаком * отмечены степени точности по БВ-РМ-62—71.

ТАБЛИЦА 1 99

Предельные отклонения формы и расположения поверхностей, не ограниченные полями допусков размеров [БВ-РТМ-62—71]

Наименование отклонения формы или расположения	Параметры, по которым определяется предельное отклонение	Классы точности размеров					Номера таблиц справочника, в которых приведены предельные отклонения по указанным степеням точности
		5 и точнее					
		7	8	9	10		
		Степени точности формы или расположения по ГОСТ 10356—63 или БВ-РТМ-62—71					
Изогнутость цилиндрических и призматических поверхностей (не-сопрягаемых или сопрягаемых, когда длина поверхности превышает длину соединения)	Класс точности диаметра или тол-щины призматического элемента и длина поверхности	XI *	XIII *				Табл. 1.93
Горцевое биение	Класс точности размера, координирующего торцев, и диаметр торцо-вой поверхности	X	XI	XIII *			Табл. 1.98
Несоосность, непараллельность осей (в симметричных деталях)	Более грубый класс точности и больший номинальный диаметр рас-сматриваемых поверхностей	X	XII *	XIV *			Табл. 1.97
Несимметричность (в симметрич-ных деталях)	Более грубый класс точности и больший номинальный размер рас-сматриваемых элементов	XIII *	XIV *	XV *	XVI *		Табл. 1.97
Неперпендикулярность	Степень точности по ГОСТ 8908—58, принятая для больших допусков угловых размеров, и длина рассма-триваемой поверхности	XII при 9-й степени точ-ности по ГОСТ 8908—58, XIV * при 10-й степени точности по ГОСТ 8908—58, XVI * при допусках грубее 10-й степени точности					Табл. 1.98
Примечание. Знаком * отмечены степени точности по БВ-РТМ-62—71.							

Примечание. Знаком * отмечены степени точности по БВ-РТМ-62—71.

ТАБЛИЦА 1.100

Отклонения от цилиндричности
в зависимости от класса точности диаметра [6]

Классы точности или поля допусков диаметров		Предельные отклонения от цилиндричности	
		относительная точность	степени точности по ГОСТ 10356—63
Отверстия и валы	класса 07	H	III
		П	II
		В	I
	класса 08	H	IV
		П	III
		В	II
Отверстия класса 09, валы класса 1 (кроме X_1)		H	V
		П	IV
		В	III
Отверстия класса 1 (кроме X_1), валы класса 2 и X_1		H	VI
		П	V
		В	IV
Отверстия класса 2 (кроме $L, Ш$), X_1 , валы класса 2а (кроме Pr_{2a}^2), $Гр, \lambda$		H	VII
		П	VI
		В	V
Отверстия класса 2а, валы $L, Ш, TH, Pr_{2a}^2$		H	VIII
		П	VII
		В	VI
Отверстия и валы	класса 3, кроме $Ш_3$	H	IX
		П	VIII
		В	VII
	класса 3а, $Ш_3$	H	X
		П	IX
		В	VIII
	класса 4	H	XI
		П	X
		В	IX

Примечание. H, П, В = соответственно нормальная, повышенная, высокая относительная точность отклонений формы и расположения.

Примечание. H, P, V — соответственно нормальная, повышенная, высокая относительная точность отклонений формы и расположения.

Предельные отклонения формы и расположения поверхностей, не ограниченные полем допуска размера, приведены в табл. 1.99. Допуски назначаются по этой же таблице, если для обеспечения служебного назначения изделия не требуется меньших предельных отклонений формы и расположения поверхностей (БВ-РТМ-62—71, п. 1.3).

В зависимости от соотношения с допуском размера предельные отклонения формы и расположения относят к нормальной, повышенной, высокой или особо высокой степеням относительной точности; допуски формы и расположения составляют 60% (при нормальной), 40% (при повышенной), 25% (при высокой), 16% и менее от допуска размера (при особо высокой относительной точности). Рекомендуется (БВ-РТМ-62—71) следующее применение степеней относительной точности:

а) для свободных (несопрягаемых) поверхностей, поверхностей деталей, к которым не предъявляются особых требований по точности центрирования или прочности, поверхностей деталей, у которых взаимное перемещение либо отсутствует, либо имеет эпизодический характер — отклонения формы и расположения допустимы в пределах всего поля допуска размера;

б) при небольших нагрузках и скоростях относительных перемещений, повышенных требованиях к точности центрирования и стабильности натяга; для измерительных поверхностей калибров и технологических допусков формы и расположения при допусках размеров по 1—5-му классам точности — нормальная относительная точность;

в) при повышенных требованиях к плавности хода и герметичности уплотнений, для технологических допусков формы и расположения при допусках размеров грубее 5-го класса точности — повышенная относительная точность;

г) при высоких скоростях и нагрузках, высоких требованиях к плавности хода, к точности и прочности в условиях воздействия больших скоростей и нагрузок, ударов, вибраций — высокая относительная точность;

д) при особо высоких требованиях по обеспечению кинематической точности, плавности и герметичности при больших давлениях, минимального трения, бесшумности, максимальной долговечности при тяжелых режимах работы — особо высокая относительная точность.

К особо высокой относительной точности, как правило, относятся допуски формы деталей, сортируемых на размерные группы или аттестуемых по размеру.

Отклонения от цилиндричности в зависимости от класса точности диаметра приведены в табл. 1.100.

Расчет допусков расположения

Величина допусков расположения зависит от их вида и конструкции сопряженных деталей.

Независимые допуски (см. табл. 1.97 и 1.98) устанавливаются с учетом их влияния на физические и динамические характеристики узла машины или прибора. Биение приводит к неравномерности вращения и вызывает вибрации; эксцентриситет лимба влияет на погрешность показаний измерительного прибора; несовмещение осей карданных подвесов уменьшает чувствительность гироскопов и т. п.

Зависимые допуски Δ рассчитываются тремя способами:

1) с использованием наименьшего зазора посадки Z ($S_{\text{наим}}$) сопрягаемых элементов деталей;

2) с использованием доли допусков δ линейных размеров;

3) совмещением с допусками δ размеров (совмещенный контроль).

Контур положения, определяющий зависимые допуски расположения, при первом способе находится в поле зазора Z посадки (рис. 1.35, а), при втором — в поле допусков δ размеров координируемых поверхностей (рис. 1.35, б), а при третьем способе совмещается с предельным контуром проходных сторон элементов детали (рис. 1.35, в).

При первом способе суммарный допуск положения, относящийся к сопряжению элементов двух деталей,

$$\Delta_c = \sum K_i Z_i, \quad (1.18)$$

где Z_i — минимальный зазор посадки сопряжения (предполагается координация сопряженных поверхностей в одном направлении).

Коэффициент K_i выбирается в зависимости от назначения сопряженных деталей: для деталей неподвижных в эксплуатации $K_i = 0,3 \div 0,5$ (на рис. 1.35, а K_i принят равным 0,5 для Z_1 и Z_2), а для подвижных деталей $K_i = 0,2 \div 0,4$. Если целесообразно выбирать одно значение K_i для всех Z_i , то

$$\Delta_c = K \sum Z_i.$$

Формула (1.18) справедлива также для допуска Δ_c , комбинированного из допусков зависимых и независимых, так как при любом виде допусков расположения образуется контур положения (стр. 238).

При втором способе суммарный допуск расположения

$$\Delta_c = \sum m_j \delta_j, \quad (1.19)$$

где $m_j \delta_j$ — используемая часть допуска δ_j линейных размеров ступенчатого сопряжения (для охватывающих δA и охватываемых δB поверхностей).

Коэффициент m_j выбирается в пределах 0,05—0,3 в зависимости от технологии изготовления деталей и требуемой величины Δ_c . Допуск δ_j должен быть уменьшен на величину $2m_j \delta_j$, и линейные размеры координируемых поверхностей контролируются проходными калибрами от границы максимума материала сокращенных допусков δ_j , т. е.

$$\left. \begin{aligned} B'_{\text{наиб}} &= B_{\text{наиб}} - 2m_j \delta_j; \\ A'_{\text{наим}} &= A_{\text{наим}} + 2m_j \delta_j. \end{aligned} \right\} \quad (1.20)$$

Здесь $B_{\text{наиб}}$ и $A_{\text{наим}}$ — наибольший и наименьший предельные линейные размеры охватываемых и охватывающих поверхностей (глава первая, п. 1); $B'_{\text{наиб}}$ и $A'_{\text{наим}}$ — те же размеры при использовании части допусков δ_j (на рис. 1.35, б показаны только для вала).

Второй способ целесообразен, если зазоры Z_i посадки не могут быть использованы, или недостаточны, или отсутствуют (скользящая посадка).

Допуск Δ_c может быть образован в общем случае частично за счет зазоров, а частично за счет допусков размеров. При сокращении допусков размеров целесообразнее изменить отклонения на чертежах деталей. Применяют также операционные калибры с сокращенным допуском в соответствии с технологией изготовления деталей. В индивидуальном и мелкосерийном производстве назначают допуск расположения с учетом фактических отклонений линейных размеров на предшествую-

щих операциях. Контроль расположения тогда можно производить по результирующим размерам.

При третьем способе допуск Δ_c особо не выделяется, но совмещается с допусками координируемых размеров и ограничивается методом контроля. Контур положения совпадает с контуром максимума материала (глава первая, п. 1). Проходной предельный калибр является комплексным¹ и одновременно контролирует положение всех координируемых поверхностей и размеры максимума материала (рис. 1.35, в). При совмещенном контроле следует ставить ноль в рамке у символа отклонения $\boxed{+ \quad 0 \quad \textcircled{M}}$ или на чертеже сделать запись: «совмещенный до-

пуск на...» (смещение отверстия от номинального расположения)» [6].

Третий способ рационально применять при таких отклонениях, как непараллельность, несоосность, а также при одновременной обработке всех координируемых поверхностей деталей (штамповка, координатное протягивание, фасонирование, фрезерование набором фрез и т. п.).

При расчете допусков на несоосность для всех трех способов необходимо учесть возможный перекося осей, особенно при расположении отверстий в двух несмежных элементах детали (например, в детали типа вилки); такое расположение обычно называют разнесенным. Суммарный допуск может быть увеличен, если перекося не нарушает работы узла при угле α , причем $\operatorname{tg} \alpha = 2K \frac{Z_1}{l_1}$, где l_1 — длина наименьшей ступени (отверстий), а Z_1 — зазор в сопряжении по этой же ступени (см. табл. 1.96, несоосность). Таким образом, в этом случае (первый способ расчета) суммарный допуск Δ_c на несоосность

$$\Delta_c = K \left(Z_1 + Z_2 + 2Kl \frac{Z_1}{l_1} \right), \quad (1.21)$$

где Z_2 — зазор по второй ступени; l — расстояние между противоположными торцами ступеней детали с отверстиями; K — коэффициент, аналогичный в формуле (1.18).

Распределение суммарного допуска Δ_c на каждую из двух сопряженных деталей (для отверстия ΔA_i , для вала ΔB_i) можно осуществлять для каждой ступени и для двух координируемых ступеней. При распределении на каждую ступень в отдельности, если имеется i ступеней,

$$\Delta_{c_1} = \Delta A_1 + \Delta B_1; \quad \Delta_{c_2} = \Delta A_2 + \Delta B_2; \quad \dots; \quad \Delta_{c_i} = \Delta A_i + \Delta B_i. \quad (1.22)$$

Допуски или отклонения на попарно координируемые ступени одной и той же детали суммируют затем попарно так, чтобы была увязка с базой (если таковая требуется), т. е.

$$\left. \begin{aligned} \Delta A_{1,2} &= \Delta A_1 + \Delta A_2; \\ \Delta A_{1,3} &= \Delta A_1 + \Delta A_3; \\ \Delta B_{1,2} &= \Delta B_1 + \Delta B_2; \\ \Delta B_{1,3} &= \Delta B_1 + \Delta B_3 \end{aligned} \right\} \quad (1.23)$$

и т. д.

¹ На некоторых заводах при совмещенном контроле, кроме обычных проходных калибров, применяют комплексный калибр с исполнительными размерами, совпадающими с полем допуска калибра П→ПР или частично выходящими из его границы (глава вторая, пп. 1 и 7).

где $\Delta A_{1,2}$; $\Delta A_{1,3}$. . — допуски (отклонения) на взаимное расположение двух охватываемых поверхностей (отверстий); $\Delta B_{1,2}$; $\Delta B_{1,3}$. . — то же двух охватываемых поверхностей (валов) детали (глава первая, п. 1). Ступень 1-я — базовая.

По указанным отклонениям рассчитывают контур положения, являющийся контуром номиналов однопредельного (комплексного) калibra (глава вторая, п. 7).

Способ расчета на каждую ступень применяется в случаях много-сопряженных соединений и с числом ступеней более трех несимметрично расположенных поверхностей, контроля деталей в собранном виде и т. п.

При расчете на попарно координируемые ступени (первую и вторую) суммарный допуск

$$\Delta_{\Sigma, 2} = \Delta A_{1, 2} + \Delta B_{1, 2}. \quad (1.24)$$

Способ расчета применяется в случаях симметричных и соосных поверхностей (с числом ступеней до трех) или расстояний, определяющих центры отверстий, и т. п.

Распределение суммарного допуска расположения Δ_{Σ} между ΔA_i и ΔB_i по формулам (1.23) и (1.24) должно производиться с учетом сложности изготовления и контроля каждой из сопряженных деталей. Чаще берут ΔA_i , равное ΔB_i ; для расстояний L центров отверстий от плоскости или других отверстий обычно $\Delta L_I = \Delta L_{II}$, где индексы I и II обозначают верхнюю и нижнюю детали (планки).

Расчетные формулы для наиболее типовых размеров расположения приведены в табл. 1.101 и 1.102, а примеры расчетов — на стр. 263—266.

Табл. 1.102 содержит формулы для расчета Δ за счет зазоров Z , что наиболее часто встречается в практике, но по аналогии с табл. 1.101 нетрудно получить формулы и для общего случая расчета.

Если отклонения размера расположения, как, например, расстояния L между осями отверстий должны иметь знаки (\pm), то для упрощения расчетов абсолютные величины таких отклонений приравнены допуску расположения (пример: допуск $\Delta = 0,05$, отклонения $\pm \Delta L = \pm 0,05$ мм).

Относительно расчетов допусков по формулам табл. 1.101 и 1.102 нужно учесть следующее.

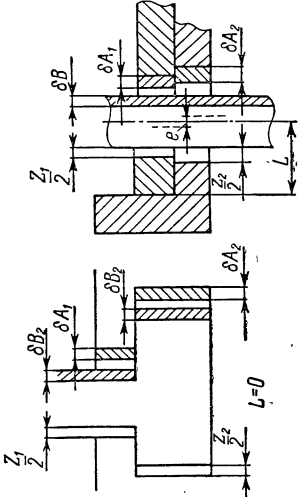
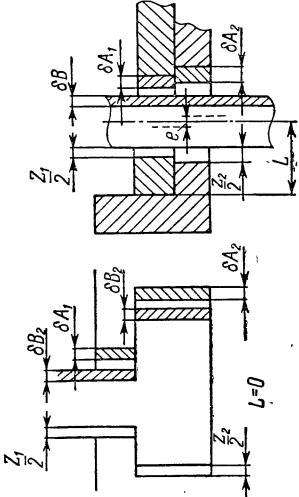
1. Если возникает эксцентриситет e между резьбой и гладкой частью болтов и винтов, смещение размеров по ширине шпонки и т. п. (см. эскиз в табл. 1.101; 1.102, пп. 2 и 3), следует величины допусков (Δ_{Σ} , или ΔA и ΔB) соответственно уменьшить против расчетных.

2. Для исключения соприкосновения в сборке какой-либо из ступеней уменьшается Δ_{Σ} на действующий зазор Z_{0i} так, что имеет место зависимость (если $K_i = 0,5$)

$$\Delta_{\Sigma} = \sum_i K_i Z_i - Z_{0i}.$$

3. Если в многоступенчатом соединении имеются две базы (табл. 1.102), то не только не учитывают зазоров $Z_{\text{баз1}}$ и $Z_{\text{баз2}}$ этих баз, но следует еще уменьшить суммарные допуски $\Delta_{\Sigma} = \sum K_i Z_i$ на величину смещения баз ($\Delta_{\text{баз1}}$, $\Delta_{\text{баз2}}$). Поэтому не рекомендуется устанавливать допустимые смещения последовательно от ступени к ступени, представлять размеры расположения (расстояния L) последовательно друг за другом (цепочкой) и т. п.

ТАБЛИЦА 1.101
Расчет суммарного допуска расположения Δ_0

Типовые отклонения	Расчетные формулы	
	Общий случай	При использовании зазора Z допуска δ
<p>Две ступени сопряжения</p> 	<p>Зазор в обоих сопряжениях</p> $\Delta_0 = K(Z_1 + Z_2) + m_1 \delta A_1 + m_2 \delta A_2 + m_1 \delta B_1 + m_2 \delta B_2$ $\Delta_0 = K(Z_1 + Z_2) \quad \Delta_0 = \sum_i m_i \delta_i$	
	<p>Зазор в одном сопряжении (или в одной планке)</p> $\Delta_0 = KZ + \sum_i m_i \delta_i \quad \Delta_0 = KZ \quad \Delta_0 = \sum_i m_i \delta_i$	

Продолжение табл. 1.101

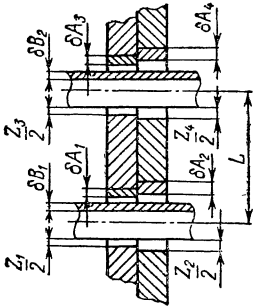
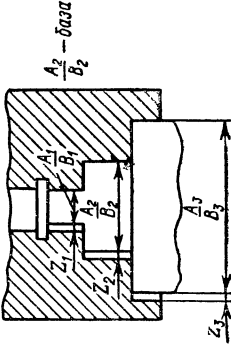
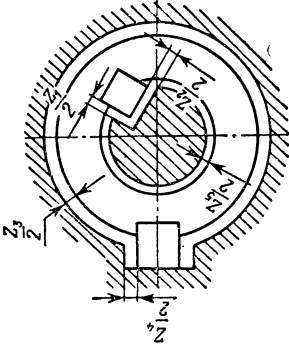
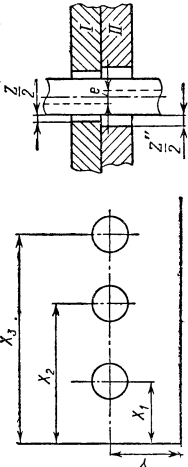
Типовые отклонения	Расчетные формулы		
	Общий случай	При использовании	
		зазора Z	допуска δ
<p>Состояние между осями двух отверстий</p> 	<p>Зазор в обеих планках</p> $\Delta_c = K(Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4) + m_1\delta A_1 + m_2\delta A_2 + m_3\delta A_3 + m_4\delta A_4 + m_5\delta B_1 + m_6\delta B_2$ $\Delta_c = K(Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4) + \Delta_c = \sum_i m_i\delta_i$		
	<p>Зазор в одной планке</p> $\Delta_c = K(Z_1 + Z_2) + \sum_i m_i\delta_i$ $\Delta_c = K(Z_1 + Z_2) + \Delta_c = \sum_i m_i\delta_i$		
<p>Примечания:</p> <ol style="list-style-type: none">1. i — 1, 2, 3 и т. д.2. Зазор в обеих планках относится к проходным болтам, осям и валам деталей и т. п.3. Зазор в одной планке относится к винтам, шпилькам, штифтам, пальцам и т. п., закрепленным неподвижно без зазора.4. Допуски на каждую деталь (ΔA_i, ΔB_i) определяются согласно формулам (1.22) и (1.23).			

ТАБЛИЦА 1.102
Расчет суммарного допуска расположения Δ_c за счет наименьшего зазора Z посадки

Характер типového отклонения	Расчетные формулы	Условия контроля
<p>Три и более ступеней соединения</p>  <p>(база одна для всех ступеней)</p>	<p>А. $\Delta_{c_{1,2}} = KZ_1$; $\Delta_{c_{2,3}} = KZ_3; \dots$; $\Delta_{c_{2,i}} = KZ_i$ $\Delta_{c_1} = \Delta A_1 + \Delta B_1$; $\Delta_{c_2} = 0$ (базовая ступень); $\Delta_{c_3} = \Delta A_3 + \Delta B_3; \dots$; $\Delta_{c_i} = \Delta A_i + \Delta B_i$; $\Delta A_{1,2} = \Delta A_1$; $\Delta A_{2,3} = \Delta A_3; \dots$; $\Delta A_{2,i} = \Delta A_i$; (а) $\Delta B_{1,2} = \Delta B_1$; $\Delta B_{2,3} = \Delta B_3; \dots$; $\Delta B_{2,i} = \Delta B_i$ (b)</p> <p>Б. Предыдущие формулы (а) и (b) заменяются следующими: $\Delta' A_{1,2} = \Delta A_1 - \frac{\delta A_2}{2}$; $\Delta' A_2 = \Delta A_1 - \frac{\delta A_2}{2}$; $\Delta' A_{2,i} = \Delta A_i - \frac{\delta A_2}{2}$; $\Delta' B_{1,2} = \Delta B_1 - \frac{\delta B_2}{2}$; $\Delta' B_{2,3} = \Delta B_3 - \frac{\delta B_2}{2}$; \dots; $\Delta' B_{2,i} = \Delta B_i - \frac{\delta B_2}{2}$, где δA_2 и δB_2 — допуски линейных размеров А и В сопряжений базовой ступени</p>	<p>Детали контролируются одновременно по всем ступеням комплексными калибрами на входимость</p> <p>Детали контролируются комплексными калибрами раздельно по операциям, т. е. попарно, от базовой ступени</p>

Продолжение табл. 1.102

Характер типового отклонения	Расчетные формулы	Условия контроля
<p>2. Многооспрямленное (несимметричное) сопряжение</p> 	<p>Для каждого (<i>i</i>) сопряженного размера ступени</p> $\Delta c_i = K_i Z_i; \Delta A_i + \Delta B_i = \Delta c_i$ <p>К каждому линейному размеру детали дается допуск (отклонение) положения</p> $\Delta A_i \text{ или } \Delta B_i$ <p>Примечание. При попарном контроле от базы см. формулы выше</p>	<p>Деталь контролируется одновременно по всем ступеням (элементам) комплексным калибром на входимость</p>
<p>3. Ряд отверстий, координируемых от двух баз</p>  <p>Размеры X представлены лесенкой</p>	<p>$\Delta X_c = \Delta Y_c = 0.707 K Z_c$</p> <p>Для каждого размера (X_1, X_2, \dots):</p> <p>а) при двух зазорах в обеих планках (болты) I и II</p> $Z_0 = Z^I + Z^{II}$ <p>б) при одном зазоре в одной из планок (винты, шпильки)</p> $Z_c = Z^I \text{ или } Z_c = Z^{II}$ $\Delta X_I = \Delta X_{II} = K Z_c$ <p>Примечание. Обозначения $\Delta c_i, \Delta c_{i,1,2}, \Delta A_i, \Delta B_i, \Delta A_{i,1,2}$ и т. д. см. в пояснениях к формулам (1.18) — (1.23) на стр. 256—258</p>	<p>—</p>

4. При трех и более ступенях базовая ступень может быть дополнительно смещена против допуска расположения, рассчитанного по формулам табл. 1.102 (п. 1), на KZ , где Z — зазор базовой ступени, если это смещение не будет включено в допуски расположения между остальными ступенями (или если контур положения по всем ступеням, кроме базовой, не будет изменен).

Аналогичное увеличение допусков расположения может производиться на расстояние L между осями.

5. Действительное отклонение Δ_d во взаимном положении может быть больше рассчитанного по формулам на полусумму допусков δ_1 и δ_2 линейных размеров координируемых поверхностей (диаметров отверстий, ширины пазов или выступов и т. д.), т. е. для вала и для отверстия имеем:

$$\left. \begin{aligned} \Delta_{d_{\max}}^{1,2} &= \Delta_{A_{1,2}} + \frac{\delta A_1 + \delta A_2}{2}; \\ \Delta_{d_{\max}}^{1,2} &= \Delta_{B_{1,2}} + \frac{\delta B_1 + \delta B_2}{2}. \end{aligned} \right\} \quad (1.25)$$

При совмещенном контроле (3-й способ) первый член суммы равен нулю. Если для одной сопряженной детали указан допуск зависимый, а для второй — допуск независимый (стр. 239), то приравнивается нулю соответствующий второй член суммы, т. е. полусумма допусков или отверстий, или валов.

Примеры возможных величин отклонений расположения в зависимости от действительных отклонений размеров при совмещенном контроле (зависимый допуск расположения равен нулю) приведены в БВ-РТМ-62—71, табл. 11.

6. Возможно увеличение Δ_c против рассчитанного по 2 или 3-му способу (стр. 256) благодаря сборке деталей с подбором по размерам сопряженных поверхностей. Величина допусков δ линейных размеров и $\Delta_{d_{\max}}$ допусков расположения не увеличивается при таком расчете. Группы подбора соединяются в сборке так, чтобы увеличенный допуск Δ_{c_i} был примерно одинаков во всех i группах подбора (см. пример 4),

$$\Delta_{c_i} = K (BO_{B_i} + NO_{A_i}), \quad (1.26)$$

где K — коэффициент использования отклонений размеров (стр. 256); BO_{B_i} — верхнее отклонение размера охватываемой поверхности (вала) i -й группы подбора; NO_{A_i} — нижнее отклонение размера охватываемой поверхности (отверстия) i -й группы.

Распределение допуска Δ_c на каждую деталь производится по формулам (1.22)—(1.24).

Пример 2. Расчет допусков расположения ΔA и ΔB двухступенчатого соединения, подвижного в эксплуатации (рис. 1.36).

1. Наименьшие зазоры соединения:

у первой ступени

$$56 \frac{A_4}{X_4} (56 A_4 = 56^{+0,2}; \quad 56 X_4 = 56^{-0,1}_{-0,3};$$

$$Z_1 = 0,1 \text{ мм}; \quad \delta X_4 = 0,2 \text{ мм}; \quad \delta A_4 = 0,2 \text{ мм};$$

у второй ступени

$$15 \frac{A_3}{X_3} (15A_3 = 15^{+0,035}; 15X_3 = 15^{+0,02}_{-0,07},$$

$$Z_2 = 0,02 \text{ мм}; \delta X_3 = 0,05 \text{ мм}; \delta A_3 = 0,035 \text{ мм}).$$

2. Суммарный допуск расположения Δ_a ; расчет по табл. 1.101, типовое отклонение 1. Допуск Δ_a образуем за счет зазоров Z_1 и Z_2 , а также допуска размера $56X_4$.

По расчетной формуле для общего случая, принимая $K = 0,3$ и $m = 0,2$ (стр. 256), находим

$$\Delta_a = 0,3 (0,1 + 0,02) + 0,2 \cdot 0,2 = 0,076 \text{ мм}.$$

3. Допуск расположения на каждую деталь соединения; ступени симметричные, поэтому пользуемся формулой (1.22); учитывая большую трудность изготовления паза (ΔA), выделим для допуска последнего 60% Δ_c :

$$\Delta A = 0,6 \cdot 0,76 = 0,456 \approx 0,45 \text{ мм};$$

$$\Delta B = 0,076 - 0,45 = 0,031 \approx$$

$$\approx 0,030 \text{ мм}.$$

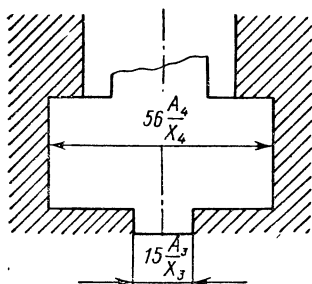


Рис 1.36

Допуски ΔA и ΔB указываются на чертежах деталей.

4. Номинальные размеры (по контуру положения), необходимые для расчета однопредельного калибра (глава вторая, п. 7), находят по номиналам предельных размеров проходной стороны детали и прибавляют ΔA или вычитают ΔB по каждой ступени (т. е. по размерам 56 и 15). Ввиду частичного использования допуска размера $56X_4$ необходимо ввести соответственно уменьшенный производственный допуск. Номинал операционной проходной предельной скобы согласно формуле (1.20).

$$B'_{\text{наиб}} = (56 - 0,1) - 2 \cdot 0,2 \cdot 0,2 = 55,82 \text{ мм}.$$

При приемочном контроле согласно допуску по чертежу $B_{\text{наиб}} = 55,9 \text{ мм}$.

Иногда из условий контроля или при наличии посадок скольжения или с малыми зазорами требуется, чтобы одна из ступеней была направляющей (базовой). Тогда контур положения относится ко второй ступени, номиналы которой (для однопредельного калибра расположения, см. главу вторую, п. 7) увеличивают на $2\Delta B$ и уменьшают на $2\Delta A$.

Для направляющей ступени номинал контура положения приравнивают размеру проходного изношенного рабочего калибра Р-ПР (глава вторая, п. 1).

5. Максимальное действительное отклонение находится по формуле (1.25):

для паза

$$\Delta A_{\text{д max}} = \Delta A + \frac{\delta A_1 + \delta A_2}{2} = 0,45 + \frac{0,20 + 0,035}{2} \approx 0,163 \text{ мм};$$

для ползуна

$$\Delta B_{\text{д max}} = \Delta B + \frac{\delta' B_1 + \delta B_2}{2} = 0,030 + \\ + \frac{0,20 - 0,08 + 0,05}{2} \approx 0,115 \text{ мм.}$$

Пример 3. Расчет допусков расположения ΔA и ΔB трехступенчатого соединения детали 1 со сборкой 2 (рис. 1.37).

1. Наименьшие зазоры соединения: у первой ступени $Z_1 = 0,040$ мм (база); у второй ступени $Z_2 = 0,17$ мм; у третьей ступени $Z_3 = 0,34$ мм

2. Суммарные допуски расположения Δ_{Σ} ; деталь контролируется одновременно по всем трем ступеням, т. е. применимы формулы табл. 1.102 (типичное отклонение 1. случай А).

Допуски образуем за счет зазоров Z_2 и Z_3 (первая ступень является базовой). Принимаем $K = 0,4$, так как детали в эксплуатации не перемещаются относительно друг друга (стр. 256)

$$\Delta_{\Sigma 1,2} = 0,4Z_2 = 0,4 \cdot 0,17 = 0,068 \text{ мм;}$$

$$\Delta_{\Sigma 1,3} = 0,4Z_3 = 0,4 \cdot 0,34 = 0,136 \text{ мм;}$$

$$\Delta_{\Sigma 2} = 0,068 \text{ мм; } \Delta_{\Sigma 1} = 0;$$

$$\Delta_{\Sigma 3} = 0,136 \text{ мм.}$$

3. Допуск расположения на каждую деталь соединения: по формуле (1.22), распределяя Δ_{Σ} поровну, имеем

$$\Delta A_{1,2} = \Delta A_2 = 0,5\Delta_{\Sigma 2} = 0,034 \approx 0,035 \text{ мм;}$$

$$\Delta A_{1,3} = \Delta A_3 = 0,5\Delta_{\Sigma 3} = 0,068 \approx 0,070 \text{ мм;}$$

$$\Delta B_{1,2} = \Delta A_{1,2} = 0,035 \text{ мм; } \Delta B_{1,3} = \Delta A_{1,3} = 0,070 \text{ мм.}$$

4. Если бы деталь контролировалась комплексным калибром раздельно по ступеням (случай 1, Б, табл. 1.102), то рассчитанные выше суммарные допуски были бы уменьшены на величину допуска базовой (первой) ступени, т. е. на $\delta A = 0,035$ мм и $\delta B = 0,035$ мм (0,075—0,040).

Следовательно,

$$\Delta' A_{1,2} = \Delta A_{1,2} - \frac{0,035}{2} = 0,035 - 0,0175 \approx 0,018 \text{ мм;}$$

$$\Delta' A_{1,3} = \Delta A_{1,3} - \frac{0,035}{2} = 0,070 - 0,0175 \approx 0,052 \text{ мм;}$$

$$\Delta' B_{1,2} = 0,035 - 0,0175 \approx 0,018 \text{ мм;}$$

$$\Delta' B_{1,3} = 0,070 - 0,0175 \approx 0,052 \text{ мм.}$$

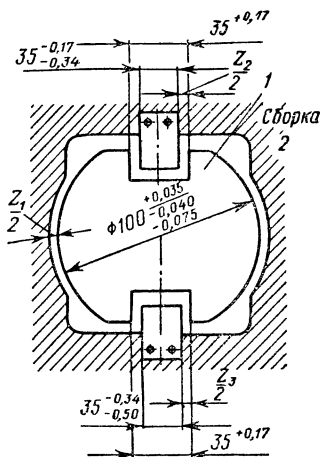


Рис. 1.37

Кроме калибров для раздельного контроля, можно применять затем калибр на входимость, для расчета номиналов которого остаются действительными допуски Δ , рассчитанные выше в п. 3.

Согласно 4-му замечанию (стр. 263), калибр на входимость и один из калибров для раздельного контроля можно рассчитывать с увеличением допуска расположения первой ступени на $\Delta_{a1} = 0,4 \cdot 0,040 = 0,016$ мм, но остальные допуски не следует изменять (см. пример 16, глава вторая, п. 7).

Пример 4. Расчет допусков расположения двухступенчатого сопряжения, неподвижного в эксплуатации и со сборкой с подбором.

Соединение 1-е: паз 1, 2 $A_3 \begin{pmatrix} +0,02 \\ -0,01 \end{pmatrix}$ и выступ 1,2 $X_3 \begin{pmatrix} -0,007 \\ -0,032 \end{pmatrix}$.

Соединение 2-е: отверстие (с пазом) диаметром 3А $\begin{pmatrix} +0,01 \\ -0,009 \end{pmatrix}$ и вал (с выступом) диаметром 3С_{2а} $\begin{pmatrix} -0,007 \\ -0,009 \end{pmatrix}$.

Требуется установить зависимый допуск расположения паза и отверстия, а также выступа и вала так, чтобы Δ не был меньше 0,005 мм для каждой из деталей.

Применяем сборку на две группы подбора только по соединению паз—выступ.

1. Устанавливаем группы подбора.

Для паза 1,2 A_3

группа I: $1,2 \begin{pmatrix} +0,02 \\ -0,01 \end{pmatrix}$; группа II: $1,2^{+0,01}$.

Для выступа 1,2 X_3

группа 1: $1,2 \begin{pmatrix} -0,007 \\ -0,020 \end{pmatrix}$; группа 2: $1,2 \begin{pmatrix} -0,020 \\ -0,032 \end{pmatrix}$.

Допуск размеров паза одинаков в обеих группах (0,01 мм), а допуски размеров выступа близки друг к другу (0,013 и 0,012 мм).

2. Подсчитываем суммарные (расширенные) допуски Δ_{σ} , соединяя группы так, чтобы величины этих допусков были почти одинаковыми.

По формуле (1.26), принимая $K = 0,5$;

у первой группы подбора $\Delta_{a1,1} = 0,5 (0,01 + 0,007) \approx 0,009$ мм;

у второй группы $\Delta_{a1,2} = 0,5 (0 + 0,02) = 0,01$ мм.

Распределение Δ_{σ} аналогично предыдущему. Максимальное отклонение $\Delta_{\text{дтах}}$ находят по формуле (1.25), учитывая величины допусков δ размеров по группам подбора (т. е. 0,01; 0,013 и 0,012 мм); оно не превысит аналогичного значения, полученного без подбора.

Допуски расположения осей отверстий для крепежных деталей (по ГОСТ 14140—69)

Соединения крепежными деталями выполняют двух типов: А — зазоры для прохода крепежных деталей предусмотрены в обеих соединяемых деталях; Б — только в одной из соединяемых деталей. Допуски расположения осей отверстий указываются предельным смещением осей отверстий от номинального расположения (Δ) или предельными отклонениями размеров, координирующих оси отверстий (см. табл. 1.101, предпоследние две графы). В случае соединения одной пары деталей указание предельного смещения осей от номинального расположения предпочтительно. Настоящие допуски являются зависимыми и могут контролироваться независимо от способа указания допусков, либо комплексно (считается арбитражной проверкой годности), либо поэлементно по отклонениям размеров, координирующих оси отверстий.

Стандартные значения предельных смещений осей отверстий от номинального расположения приведены в табл. 1.103. Расчетная величина предельного смещения осей отверстий от номинального расположения ($\Delta_{расч}$) при одинаковых допусках расположения осей отверстий для обоих соединяемых деталей определяется по следующим формулам: для соединения типа А

$$\Delta_{расч} = 0,5Z';$$

для соединения типа Б

$$\Delta_{расч} = 0,25Z',$$

где Z' — часть наименьшего зазора ($S_{наим} = Z$) между отверстием и крепежной деталью, которая может быть использована для компенсации смещения осей отверстий от номинального расположения. В качестве предельного смещения осей отверстий от номинального расположения, указываемого на чертеже, принимается ближайшее к $\Delta_{расч}$ значение из табл. 1.103 при условии использования всей величины зазора $Z' = Z$.

ТАБЛИЦА 1 103

Предельные смещения осей отверстий
от номинального расположения в мм
(по ГОСТ 14140—69)

0,010	—	0,016	—	0,025	—	0,04	0,05	0,06	0,08
0,10	0,12	0,16	0,20	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8
1,0	1,2	1,6	2,0	2,5	3	4	5	6	8

Предельные отклонения размеров, координирующих оси отверстий, расположенных в системах прямоугольных и полярных координат, приведены в табл. 1.104 и 1.105. Предельные отклонения координирующих размеров даны в зависимости от предельного смещения осей отверстий от номинального расположения Δ .

Предельные отклонения координирующих размеров (табл. 1.104 и 1.105) соответствуют случаю, когда допускаются одинаковые отклонения оси отверстия в обоих координатных направлениях, при этом круговое поле допуска на смещение оси от номинального расположения, имеющее радиус $r = \Delta$, заменено вписанным в него квадратным, а в системе полярных координат приближенно квадратным полем (рис. 1.38). Предельные отклонения можно увеличить в одном из координатных направлений при условии, что предельные отклонения в другом координатном направлении будут уменьшены настолько (см. рис. 1.38), чтобы смещение оси от номинального расположения не превышало исходной предельной величины Δ .

Пример 5. Определить допуски расположения осей четырех отверстий $\varnothing 12,5A_5 (+0,24)$ под болты М12 (рис. 1.39).

Для компенсации смещения осей может быть использован зазор, равный 60% от гарантированного ($Z' = 0,6Z$). Гарантированный зазор равен $Z = 12,5 - 12 = 0,5$ мм; $Z' = 0,6 Z = 0,6 \cdot 0,5 = 0,3$ мм.

**Предельные отклонения размеров, координирующих оси отверстий (изме-
(по ГОСТ 14140—69**

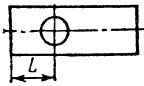
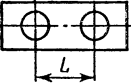
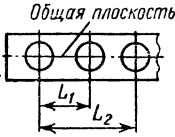
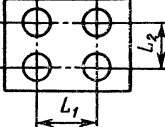
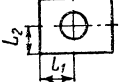
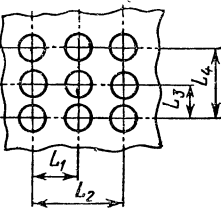
№ п/п	Характеристика расположения отверстий (измерительных элементов калибров)	Эскиз	Нормируемые отклонения размеров, координирующих оси
1	Одно отверстие, координированное относительно плоскости		Отклонение размера L
2	Два отверстия, координированные относительно друг друга		Отклонение размера L
3а 3б	Три отверстия и более, расположенные в один ряд		Отклонение размера между осями двух любых отверстий **** Смещение осей отверстий от общей плоскости
4а 4б	Три или четыре отверстия, расположенные в два ряда		Отклонения размеров L_1 и L_2 Отклонения размеров по диагонали между осями двух любых отверстий
5	Одно отверстие, координированное относительно двух взаимно перпендикулярных плоскостей		Отклонения размеров L_1 и L_2
6а 6б	Отверстия, координированные относительно друг друга и расположенные в несколько рядов		Отклонения размеров L_1 ; L_2 ; L_3 ; L_4 Отклонения размеров по диагонали между осями двух любых отверстий

ТАБЛИЦА 1.104

рительных элементов калибров) в мм. Система прямоугольных координат
и ГОСТ 16085—70)

Предельное смещение от номинального расположения Δ^*									
0,002 ***	0,003 ***	0,010	0,016	0,025	0,04 **	0,05	0,06 **	0,08 **	0,10
Предельные отклонения размеров, координирующих оси (\pm)									
—	0,003	0,010	0,016	0,025	0,04	0,05	0,06	0,08	0,10
0,004	0,006	0,020	0,030	0,05	0,08	0,10	0,12	0,16	0,20
0,0028	0,004	0,014	0,022	0,035	0,055	0,07	0,08	0,11	0,14
—	0,002	0,007	0,011	0,018	0,028	0,035	0,04	0,055	0,07
0,0028	0,004	0,014	0,022	0,035	0,055	0,07	0,08	0,11	0,14
0,004	0,006	0,020	0,030	0,05	0,08	0,10	0,12	0,16	0,20
—	—	0,007	0,011	0,018	0,028	0,035	0,04	0,055	0,07
—	—	0,007	0,011	0,018	0,028	0,035	0,04	0,055	0,07
—	—	0,020	0,030	0,05	0,08	0,10	0,12	0,16	0,20

№ п/п	Предельное смещение									
	0,12 **	0,16	0,20 **	0,25	0,30 **	0,40	0,50	0,60	0,80	
	Предельные отклонения									
1	0,12	0,16	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,80	
2	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,80	1,0	1,2	1,6	
3а	0,16	0,22	0,28	0,35	0,40	0,55	0,70	0,80	1,1	
3б	0,08	0,11	0,14	0,18	0,20	0,28	0,35	0,40	0,55	
4а	0,16	0,22	0,28	0,35	0,40	0,55	0,70	0,80	1,1	
4б	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,80	1,0	1,2	1,6	
5	0,08	0,11	0,14	0,18	0,20	0,28	0,35	0,40	0,55	
6а	0,08	0,11	0,14	0,18	0,20	0,28	0,35	0,40	0,55	
6б	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,80	1,0	1,2	1,6	

П р и м е ч а н и я: * — при значениях Δ от 0,010 до 0,100 мм указанные отверстия деталей или оси измерительных элементов (пробок или отверстий) (для осей измерительных элементов калибров), которые в 10 раз меньше соответствующих графах, должны быть уменьшены в 10 раз. *** — только для ностей. **** — если вместо отклонения размера между осями двух любых размеров от каждого отверстия (элемента) до одного базового отверстия (элемента) отклонения должна быть уменьшена вдвое.

Продолжение табл. 1.104

от номинального расположения Δ^*										
1,0	1,2	1,6	2,0	2,5	3	4	5	6	8	
размеров, координирующих оси (\pm)										
1,0	1,2	1,6	2,0	2,5	3	4	5	6	8	
2,0	2,5	3	4	5	6	8	10	12	16	
1,4	1,6	2,2	2,8	3,5	4,0	5,5	7	8	11	
0,70	0,80	1,1	1,4	1,8	2,0	2,8	3,5	4	5,5	
1,4	1,6	2,2	2,8	3,5	4,0	5,5	7	8	11	
2,0	2,5	3	4	5	6	8	10	12	16	
0,70	0,80	1,1	1,4	1,8	2,0	2,8	3,5	4	5,5	
0,70	0,80	1,1	1,4	1,8	2,0	2,8	3,5	4	5,5	
2,0	2,5	3	4	5	6	8	10	12	16	

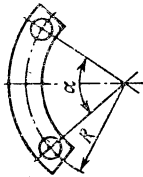
в таблице предельные отклонения относятся к размерам, координирующим оси калибров для контроля расположения поверхностей. * Δ — при значениях Δ данных, предельные отклонения координирующих размеров, приведенные в осей измерительных элементов калибров для контроля расположения поверхностей (элементов калибра) нормируются или контролируются отклонения мента) или базовой плоскости (т. е. размеров L_1 , L_2 и т. д.), то величина пре-

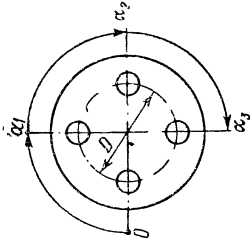
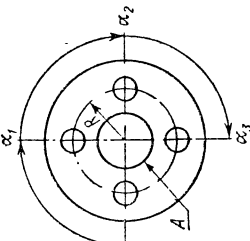
ТАБЛИЦА 1.105

Предельные отклонения размеров, координирующих оси отверстий (измерительных элементов калибров)

Система поларных координат

(по ГОСТ 14140—69 и ГОСТ 16085—70)

Характеристики расположения отверстий измерительных элементов калибров	Эскиз	Нормируемые отклонения размеров, координирующих оси	Предельное смещение от номинального расположения Δ в мм		Предельные отклонения центрального угла $\delta\alpha$ (±)			
			δD (±) в мм					
			δR (±) в мм					
1 Два отверстия, координированные относительно друг друга и центрального базового элемента		<p>1. Отклонение радиуса окружности центров $\pm \delta R$</p> <p>2. Отклонение угла между осями отверстий $\pm \delta\alpha$</p>	Св. 6 до 10	Св. 3 до 5	2' 20"	3' 40"	5'	7'
			Св. 10 до 14	Св. 5 до 7	1' 40"	2' 20"	3'	5'
			Св. 14 до 18	Св. 7 до 9	1' 10"	1' 50"	2' 20"	3' 30"
			Св. 18 до 24	Св. 9 до 12	50"	1' 20"	1' 50"	3'
			Св. 24 до 30	Св. 12 до 15	40"	1'	1' 20"	2'
			Св. 30 до 40	Св. 15 до 20	30"	50"	1'	1' 40"
			Св. 40 до 50	Св. 20 до 25	25"	35"	50"	1' 20"
			Св. 50 до 65	Св. 25 до 32	20"	30"	40"	1'

<p>2. Три и более отверстий, координированных относительно друг друга</p>	 <p>1. Отклонение диаметра окружности центров $\pm \delta D$ 2. Отклонение центрального угла между осями двух любых отверстий $\pm \delta \alpha$ **</p>	<p>Св. 65 до 80 Св. 80 до 100 Св. 100 до 120 Св. 120 до 150 Св. 150 до 180 Св. 180 до 250 Св. 250 до 310 Св. 310 до 400 Св. 400 до 500 Св. 500 до 630 Св. 630 до 800 Св. 800 до 1000 Св. 1000 до 1250 Св. 1250 до 1600 Св. 1600 до 2000</p>	<p>Св. 32 до 40 Св. 40 до 50 Св. 50 до 60 Св. 60 до 75 Св. 75 до 90 Св. 90 до 125 Св. 125 до 155 Св. 155 до 200 Св. 200 до 250 Св. 250 до 315 Св. 315 до 400 Св. 400 до 500 Св. 500 до 625 Св. 625 до 800 Св. 800 до 1000</p>	<p>16" 25" 30" 50"</p>
<p>3. Три и более отверстий, координированных относительно друг друга и центрального базового элемента</p>	 <p>1. Отклонение радиуса окружности центров $\pm \delta R$. База — поверхность A 2. Отклонение центрального угла между осями двух любых отверстий $\pm \delta \alpha$ **</p>	<p>Св. 65 до 80 Св. 80 до 100 Св. 100 до 120 Св. 120 до 150 Св. 150 до 180 Св. 180 до 250 Св. 250 до 310 Св. 310 до 400 Св. 400 до 500 Св. 500 до 630 Св. 630 до 800 Св. 800 до 1000 Св. 1000 до 1250 Св. 1250 до 1600 Св. 1600 до 2000</p>	<p>16" 25" 30" 50"</p>	<p>16" 25" 30" 50"</p>

Примечание * — только для осей измерительных элементов калибров для контроля расположения поверхностей. ** — если вместо отклонения центрального угла между осями двух любых отверстий (элементов) нормируются или контролируются отклонения центральных углов (α_1 , α_2 , α_3) между осью каждого отверстия (элемента) и осью базового отверстия (элемента), то величина предельного отклонения ($\delta \alpha$) должна быть уменьшена вдвое.

Предельное смещение от номинального расположения Δ в мм		0,05		0,06		0,08		0,10		0,12		0,16		0,20		0,25	
δD (±) в мм		0,07		0,08		0,11		0,14		0,16		0,22		0,28		0,35	
δR (±) в мм		0,035		0,04		0,055		0,07		0,08		0,11		0,14		0,18	
Номинальные размеры в мм																	
диаметров D		радиусов R		Предельные отклонения центрального угла $\delta\alpha$ (±)													
Св.	6 до	10	Св.	3 до	5	1°	1° 10'	1° 40'	2°	2° 20'	3°	4°	3° 20'				
»	10 »	14	»	5 »	7	40'	50'	1°	1° 20'	1° 40'	2°	2° 40'	2° 20'				
»	14 »	18	»	7 »	9	30'	35'	45'	1°	1° 10'	1° 30'	2°	1° 50'				
»	18 »	24	»	9 »	12	22'	28'	35'	45'	55'	1° 10'	1° 30'	1° 30'				
»	24 »	30	»	12 »	15	18'	22'	28'	35'	45'	55'	1° 10'	1° 30'				
»	30 »	40	»	15 »	20	14'	16'	22'	28'	35'	45'	55'	1° 10'				
»	40 »	50	»	20 »	25	10'	12'	16'	20'	25'	30'	40'	50'				
»	50 »	65	»	25 »	32	8'	10'	12'	16'	20'	25'	30'	40'				
»	65 »	80	»	32 »	40	6'	8'	10'	12'	16'	20'	25'	30'				
»	80 »	100	»	40 »	50	5'	6'	8'	10'	12'	16'	20'	25'				
»	100 »	120	»	50 »	60	4'	5'	7'	9'	11'	14'	18'	22'				
»	120 »	150	»	60 »	75	3' 30"	4' 30"	6'	7'	9'	12'	14'	18'				
»	150 »	180	»	75 »	90	3'	4'	5'	6'	7'	12'	14'	18'				
»	180 »	250	»	90 »	125	2'	2' 30"	3' 30"	4' 30"	6'	7'	9'	11'				
»	250 »	310	»	125 »	155	1' 40"	2'	2' 30"	3' 30"	4' 30"	6'	7'	9'				
»	310 »	400	»	155 »	200	1' 20"	1' 40"	2'	2' 30"	3' 30"	4' 30"	6'	7'				
»	400 »	500	»	200 »	250	1'	1' 20"	1' 40"	2'	2' 30"	3' 30"	4' 30"	6'				
»	500 »	630	»	250 »	315	50"	1'	1' 40"	2'	2' 30"	3' 30"	4' 30"	6'				
»	630 »	800	»	315 »	400	40"	50"	1'	1' 20"	1' 40"	2'	2' 30"	3' 30"				
»	800 »	1000	»	400 »	500	35"	40"	55"	1' 10"	1' 20"	1' 40"	2'	2' 30"				
»	1000 »	1250	»	500 »	625	25"	30"	40"	50"	1' 10"	1' 20"	1' 40"	2'				
»	1250 »	1600	»	625 »	800	20"	25"	30"	40"	50"	1' 10"	1' 20"	1' 40"				
»	1600 »	2000	»	800 »	до 1000	16"	20"	25"	30"	40"	50"	1' 10"	1' 20"				

Продолжен из табл. 1.105

Предельное смещение от номинального расположения Δ в мм		0,30	0,40	0,50	0,60	0,80	1,0	1,2
δD (\pm) в мм		0,40	0,55	0,70	0,80	1,1	1,4	1,6
δR (\pm) в мм		0,20	0,28	0,35	0,40	0,55	0,70	0,80
Номинальные размеры в мм		Предельные отклонения центрального угла $\delta\alpha$ (\pm)						
диаметров D	радиусов R							
Св. 10 до 14	Св. 5 до 7	4°	4°	3° 40'	4° 30'	4° 30'	4° 30'	4° 30'
» 14 » 18	» 7 » 9	3°	3°	3°	3° 40'	3° 40'	3° 20'	3° 20'
» 18 » 24	» 9 » 12	2° 20'	2° 20'	2° 20'	2° 40'	2° 40'	2°	2° 40'
» 24 » 30	» 12 » 15	1° 50'	1° 50'	2° 20'	2° 40'	2°	1° 40'	1° 40'
» 30 » 40	» 15 » 20	1° 20'	1° 20'	1° 40'	1° 40'	1° 20'	1° 20'	1° 20'
» 40 » 50	» 20 » 25	1°	1°	1° 20'	1° 40'	1° 20'	1° 20'	1° 20'
» 50 » 65	» 25 » 32	50	50	1°	1° 20'	1° 20'	1° 40'	2°
» 65 » 80	» 32 » 40	40'	40'	50'	1°	1° 20'	1° 40'	2°
» 80 » 100	» 40 » 50	30'	35'	45'	55'	1° 20'	1° 30'	1° 50'
» 100 » 120	» 50 » 60	28'	35'	45'	55'	1° 10'	1° 30'	1° 30'
» 120 » 150	» 60 » 75	22'	28'	35'	45'	55'	1° 10'	1° 10'
» 150 » 180	» 75 » 90	18'	22'	30'	35'	45'	55'	55'
» 180 » 250	» 90 » 125	14'	18'	22'	28'	35'	45'	40'
» 250 » 310	» 125 » 155	10'	14'	16'	20'	25'	35'	30'
» 310 » 400	» 155 » 200	8'	10'	12'	16'	20'	25'	20'
» 400 » 500	» 200 » 250	6'	8'	10'	12'	16'	20'	25'
» 500 » 630	» 250 » 315	5'	6'	8'	10'	12'	16'	20'
» 630 » 800	» 315 » 400	4'	5'	7'	8'	11'	14'	16'
» 800 » 1000	» 400 » 500	3' 30"	4' 30"	6'	7'	9'	12'	14'
» 1000 » 1250	» 500 » 625	2' 30"	3'	4'	5'	6'	8'	10'
» 1250 » 1600	» 625 » 800	2'	2' 30"	3'	4'	5'	7'	8'
» 1600 » 2000	Св. 800 до 1000	2'	2'	2' 30"	3'	4'	5'	6'

Для соединения типа А (стр. 267) расчетное значение смещения осей от номинального расположения равно

$$\Delta_{\text{расч}} = 0,5Z' = 0,5 \cdot 0,3 = 0,15 \text{ мм.}$$

На чертеже указывается ближайшее по табл. 1.103 к расчетному значению $\Delta = 0,16 \text{ мм}$.

Если на чертеже вместо предельного смещения осей отверстий от номинального расположения указывают предельные отклонения размеров, координирующих оси отверстий, то согласно табл. 1.104 предельные отклонения на размеры L_1 и L_2 равны $\pm 0,22 \text{ мм}$, а отклонения размеров по диагонали $\pm 0,30 \text{ мм}$.

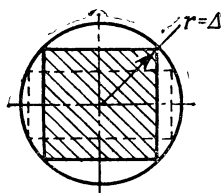


Рис. 1.38

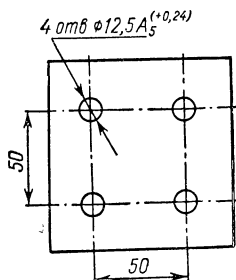
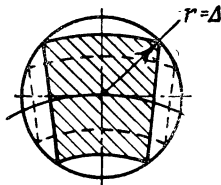


Рис. 1.39

Пример 6. Определить допуски расположения четырех отверстий $\varnothing 9A_7^{(+0,36)}$ под винты М8 (рис. 1.40). Для компенсации смещения осей может быть использован весь гарантированный зазор ($Z' = Z$). Гарантированный зазор $Z = Z' = 9 - 8 = 1 \text{ мм}$.

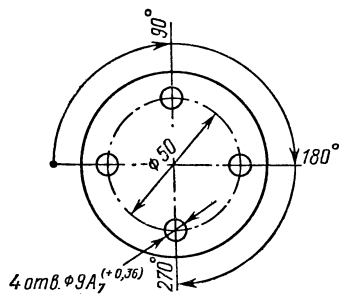


Рис. 1.40

Для соединения типа Б (стр. 267) $\Delta_{\text{расч}} = 0,25 \cdot 1 = 0,25 \text{ мм}$.

Полученное значение $\Delta_{\text{расч}}$ соответствует указанному в табл. 1.103 и принимается в качестве предельного смещения, указываемого на чертеже. Если на чертеже указывают предельные отклонения координирующих размеров, то согласно табл. 1.105 для отверстий, расположенных по окружности и координированных относительно друг друга, предельное отклонение для диаметра окружности центров равно $\pm 0,35 \text{ мм}$, а отклонение центрального угла между осями двух любых отверстий (диаметр окружности центров 50 мм) равно $\pm 50'$.

Список литературы

1. **Взаимозаменяемость** в машиностроении и приборостроении. Под общей ред. В. В. Бойцова. М., Изд-во стандартов, 1970, 551 с.
2. **Инструкционные материалы** по применению стандартов допусков мелкозубчатых зубчатых передач и исходный контур мелкозубчатых зубчатых колес. М., Стандартгиз, 1964, 124 с.

3. Кутай А. К. О некоторых основных положениях теории взаимозаменяемости в машиностроении. Взаимозаменяемость, точность и методы измерения в машиностроении (Лонитомаш, кн. 47). Л., Машгиз, 1958, с. 252.

4. Кутай А. К. Определение погрешностей формы поверхности в связи с установлением допусков.—«Стандартизация», 1960, № 7, с. 7—11.

5. Лоповок Т. С. Волнистость поверхности и ее измерение. М., Изд-во стандартов, 1973, 183 с.

6. Палей М. А. Отклонения формы и расположения поверхностей, изд. 2-е. М., Изд-во стандартов, 1973, 244 с.

7. Приборостроение и средства автоматизации. Справочник, т. I. Взаимозаменяемость и технические измерения. Под ред. Б. А. Тайца. М., Машгиз, 1963, 568 с.

8. Расчет и выбор допусков и посадок при проектировании изделий. Рекомендации. М., ВНИИмаш Госстандарта СССР, 1972, 178 с.

9. Справочник по производственному контролю в машиностроении. Изд. 2-е. Под общей ред. А. К. Кутая. Л., Машгиз, 1964, 748 с.

10. Тайц Б. А. Точность и контроль зубчатых колес. М., «Машиностроение», 1972, 367 с.

11. Тайц Б. А., Коротких Н. А. Анализ проекта рекомендации ИСО на допуски зубчатых передач. — «Стандарты и качество», 1969, № 11, с. 19—22.

12. ЦНИИТмаш. Инструкционные материалы по внедрению стандарта ГОСТ 1643—72 допусков на цилиндрические зубчатые передачи, 1972, 134 с. Составители Б. А. Тайц и Л. А. Архангельский.

13. Якушев А. И. Основы взаимозаменяемости и технические измерения, изд. 2-е., «Машиностроение», 1968, с. 26, 214.

ГЛАВА ВТОРАЯ

КАЛИБРЫ

1. КОНТРОЛЬ ГЛАДКИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Конструкция и типы калибров

Калибры применяются для контроля размеров от 0,1 до 3150 мм изделий 1—11-го классов точности (размеры менее 0,1 мм и более 3150 мм и изделия классов точности 02—09 проверяются универсальными измерительными средствами).

По конструктивным признакам различают калибры нерегулируемые (жесткие), регулируемые, односторонние и двусторонние, скобы, полные и неполные пробки, нутромеры и др.

Конструкции калибров-пробок по ГОСТ 14807—69 — ГОСТ 14827—69, ГОСТ 17736—72—ГОСТ 17742—72 приведены на рис. 2.1: 1 — двусторонние пробки с разрезными втулками и цилиндрическими вставками диаметром от 0,1 до 0,95 мм; 2 — двусторонние пробки с цилиндрическими вставками диаметром от 0,3 до 6 мм; 3 — проходные и непроходные пробки с цилиндрическими вставками диаметром от 0,3 до 6 мм; 4 — двусторонние пробки со вставками (с коническим хвостовиком) диаметром св. 3 до 50 мм; 5 — двусторонние с неполными непроходными вставками (с коническим хвостовиком) диаметром св. 6 до 50 мм (для контроля отверстий 1—3-го классов точности); 6 — проходные и непроходные полные и неполные (для контроля отверстий 1—3-го классов точности) пробки со вставками (с коническим хвостовиком) диаметром св. 50 до 75 мм; 7 — проходные и непроходные полные и неполные (для контроля отверстий 1—3-го классов точности) пробки с насадками диаметром св. 50 до 100 мм; 8 — штампованные проходные и непроходные пробки с насадками диаметром св. 50 до 100 мм; 9 — штампованные пробки проходные диаметром св. 100 до 160 мм и непроходные — св. 75 до 160 мм; 10 — неполные пробки проходные диаметром св. 100 до 300 мм, непроходные диаметром св. 75 до 300 мм; 11 — неполные пробки проходные и непроходные с накладками диаметром св. 160 до 360 мм; 12 — односторонние листовые пробки диаметром св. 50 до 250 мм (для контроля отверстий 3-го и более грубых классов точности); 13 — нутромеры непроходные сферические диаметром св. 100 до 360 мм.

Конструкции пробок по ГОСТ 16778—71—ГОСТ 16780—71 проходных от 1 до 6 мм и двусторонних от 1 до 50 мм, оснащенных твердым сплавом (марки ВК6 по ГОСТ 3882—67), соответствуют приведенным на рис. 2.1.

Пробки, оснащенные твердым сплавом, предназначены для контроля отверстий 1—5-го классов точности.

Конструкции калибров-скоб по ГОСТ 2216—68, ГОСТ 18355—73—ГОСТ 18368—73 приведены на рис. 2.2: 1 — скобы составные односторонние и двусторонние для диаметров от 1 до 6 мм; 2 — скобы листовые

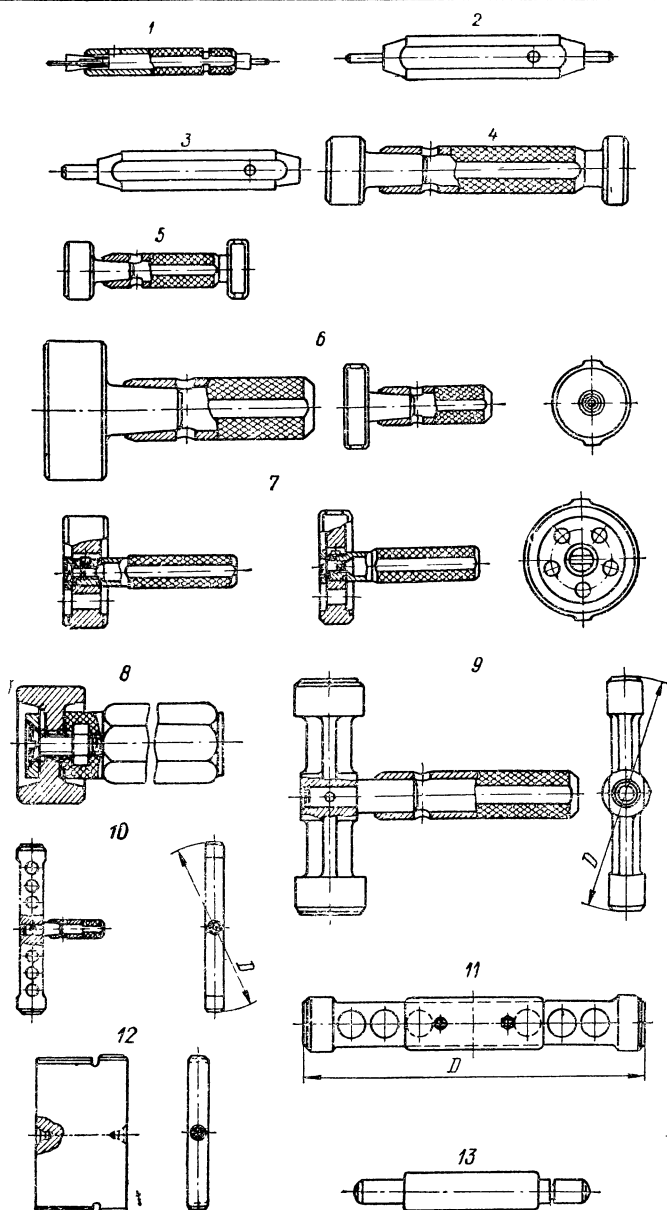


Рис 2.1

двусторонние для диаметров от 3 до 10 мм; 3 — скобы листовые односторонние для диаметров от 3 до 260 мм; 4 — скобы листовые односторонние со сменными губками для диаметров св. 100 до 360 мм; 5 — скобы штампованные для диаметров св. 10 до 180 мм; 6 — скобы листовые одно-

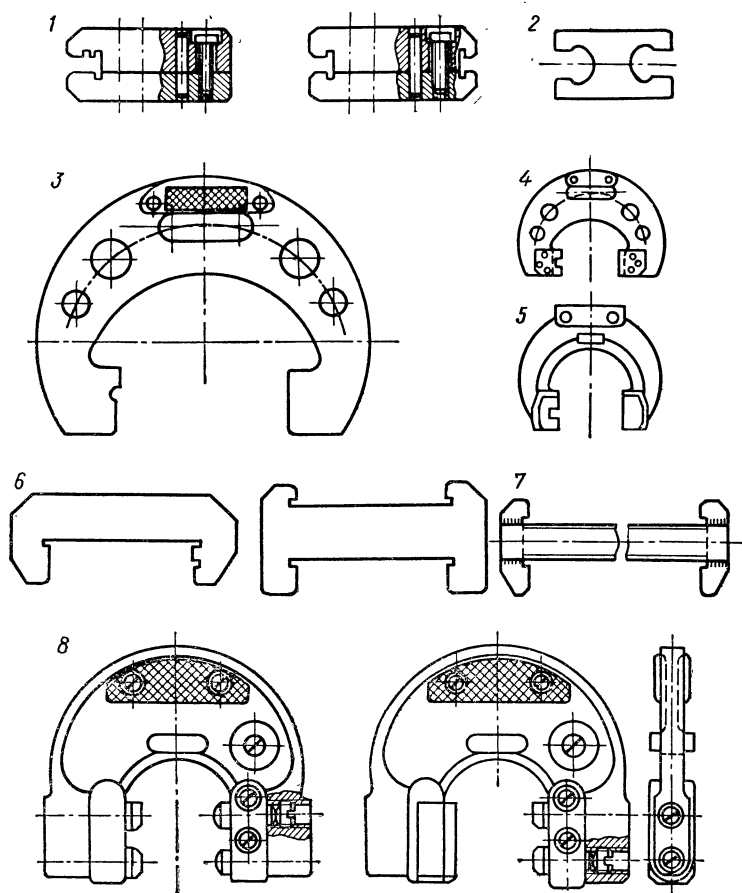


Рис. 2.2

сторонние и двусторонние для длин св. 10 до 360 мм; 7 — скобы трубчатые для длин св. 300 до 500 мм; 8 — скобы регулируемые двухпределные для диаметров до 340 мм.

Конструкции односторонних листовых скоб по ГОСТ 16775—71—ГОСТ 16777—71, оснащенных твердым сплавом, соответствуют приведенным на рис. 2.2 для диаметров от 3 до 180 мм.

Скобы, оснащенные твердым сплавом, применяются для контроля валов 2—5-го классов точности.

По назначению калибры разделяются на:

- а) рабочие калибры (Р-ПР и Р-НЕ), применяемые для проверки размеров изделий рабочими и ОТК завода-изготовителя;
- б) приемные калибры (П-ПР и П-НЕ) — для проверки размеров изделий представителями заказчика;
- в) контрольные калибры (контркалибры, К-РП, К-П, К-НЕ, К-И) — для контроля размеров рабочих и приемных калибров или для установки регулируемых скоб.

В качестве приемных калибров П-ПР используются изношенные до установленного предела рабочие калибры Р-ПР. Согласно ГОСТ 7660—55, ОСТ 1219 и ОСТ 1220 специальное изготовление приемных калибров допускается только в виде исключения. В случаях обязательной приемки представителем заказчика изделий по предельным калибрам сомнения в отношении правильности размеров изделий должны разрешаться проверкой калибрами с размерами, близкими к границе поля износа Р-ПР и к границе поля допуска нового калибра Р-НЕ (верхней — пробки, нижней — скобы).

Согласно ГОСТ 7660—55 для проверки калибров для отверстий 1—3а классов точности контркалибры не применяются, а контркалибры для скоб применяются со следующими ограничениями. Контркалибры К-И для скоб с размерами до 100 мм (контркалибры К-РП и К-НЕ для установки регулируемых скоб размером до 180 мм) допускается применять только в тех случаях, когда в условиях эксплуатации затруднителен контроль плоскопараллельными концевыми мерами. Контркалибры К-И для скоб с размерами св. 100 до 180 мм допускается применять, но предпочтительнее использование плоскопараллельных концевых мер. При этом для каждого типоразмера скобы должна быть установлена и учтена разность между диаметром вала, на который скоба проходит без зазора, и размером блока концевых мер, приспосованного к скобе.

Для валов диаметром св. 180 мм размеры новых жестких скоб должны быть в пределах, соответствующих контролю по контркалибрам К-РП и К-НЕ, регулируемые скобы должны устанавливаться по контркалибрам К-РП и К-НЕ, контроль износа скоб должен проводиться по контркалибрам К-И. Контроль скоб по контркалибрам должен производиться под такой же нагрузкой и теми же приемами, какие используются при контроле скобой изделий. Скобы должны проходить при проверке по контркалибрам К-РП и К-НЕ и не должны проходить при проверке по контркалибру К-И. Взамен контркалибров допускается применять аттестованные образцы изделий.

Калибры для отверстий проверяются универсальными измерительными средствами. Контркалибры К-П для проверки калибров скоб П-ПР для изделий 4—10-го классов точности применяются также для отбора частично изношенных калибров Р-ПР при переводе их в калибры П-ПР (калибр К-П должен проходить). Калибры-пробки и скобы Р-ПР для этих классов точности, изношенные до границы их перевода в П-ПР, называют «изношенными неполностью». При отсутствии на предприятии калибров П-ПР калибры Р-ПР изнашиваются полностью, т. е. до границы изношенных полностью (см. табл. 2.2 и 2.6). Контркалибры К-П (для калибров-скоб) в последнем случае не предусматриваются. Износ непроходных сторон калибров при необходимости ограничивается заводскими и ведомственными нормами.

При использовании рабочих калибров рабочими, контролерами цехов и ОТК завода целесообразно распределять допуск на износ калибров Р-ПР по схеме, приведенной на рис. 2.3. Пользуясь указанными на ней границами и нормами износа, можно устанавливать предельные размеры калибров Р-ПР на различных стадиях контроля во избежание недоразумений с приемкой и сдачей изделий.

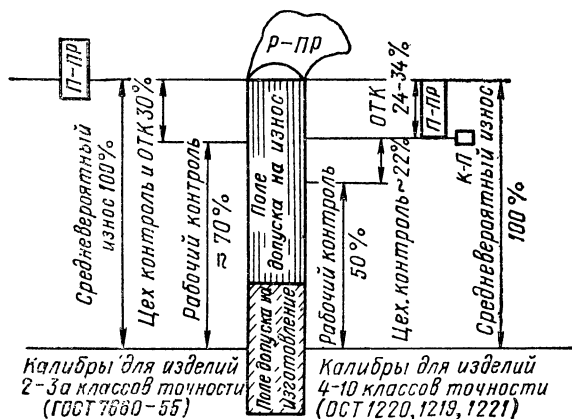


Рис. 2.3

Калибры должны удовлетворять следующим основным требованиям: высокая точность изготовления, постоянство рабочих размеров во времени, высокая износостойкость (оснащение калибров твердым сплавом, термообработка) и антикоррозионность, наибольшая жесткость при наименьшей массе, обеспечение высокой производительности и удобства контроля изделий.

Допуски калибров для размеров от 0,1 до 500 мм

Допуски на изготовление и износ калибров и контркалибров, зависящие от их назначения, номинальных размеров, классов точности и посадок контролируемых ими изделий, предусмотрены ГОСТ 2015—69, ГОСТ 5939—51, ГОСТ 7660—55 и ОСТ 1202—ОСТ 1221.

Схемы расположения полей допусков на изготовление и износ калибров, предназначенных для контроля изделий разных классов точности с номинальными размерами от 1 до 500 мм, приведены на рис. 2.4, а, б, в, с размерами от 0,1 до 1 мм (исключительно) — на рис. 2.5, а, б.

Предельные отклонения размеров вновь изготавливаемых и эксплуатируемых калибров и контркалибров приводятся в табл. 2.1—2.7¹.

¹ В связи с ограниченным применением приемных калибров, а также контркалибров К-П отклонения для них не включены в приводимые в справочнике таблицы.

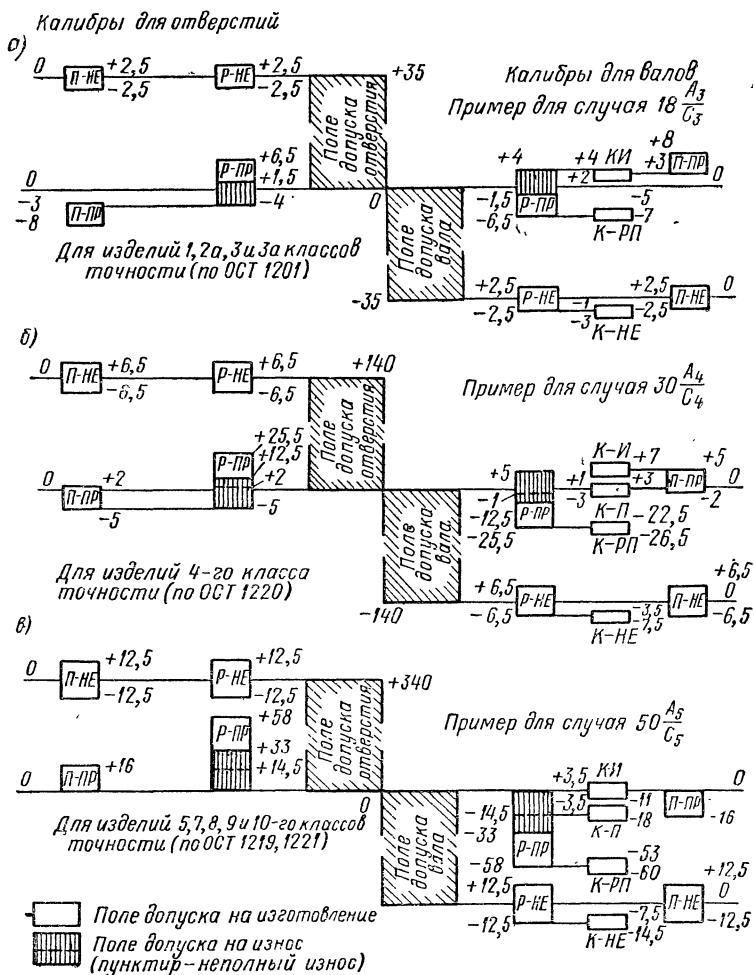
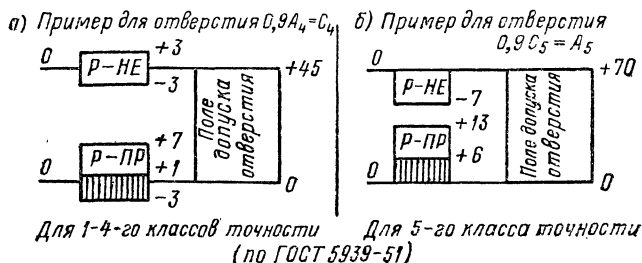


Рис. 2.4



Калибры рабочие для валов 1, 2,

Предельные

(по ОСТ 1202,

Интервалы номинальных размеров в мм			Поля допу										
			$Pr_2; Pr_1; G_1; T_1; H_1;$ $P_1; C_1 = B_1; D_1$						$X_1; Gr; Pr; Pl; G; T; H; P; C$ $X; L; Pr_{12a}; G_{2a}; T_{2a}; H_{2a}; P_{2a};$				
			Предельные отклонения										
			Р-ПР			Р-НБ		Р-ПР					
								кроме валов X и L			для валов X и L		
			новых		изношенных	верхнее	нижнее	новых		изношенных	новых		изношенных
верхнее	нижнее	верхнее	нижнее	верхнее				нижнее	верхнее		нижнее		
			—	—	+	+	—	—	+	—	—	+	
От	1 до	3	0	1,5	1	0,5	1	1	3	1,5	0	2	3
Св.	3 »	6	0	2	1	1	1	1	4	2	0,5	3,5	3,5
»	6 »	10	0	2	1	1	1	0,5	3,5	2,5	1	4	3
»	10 »	18	0,5	2,5	1,5	1	1	1	4	2	1,5	4,5	4
»	18 »	30	0,5	2,5	2	1	1	1	5	3	2	6	4
»	30 »	50	0,5	3,5	2	1,5	1,5	1,5	5,5	3	2,5	6,5	5
»	50 »	80	0,5	3,5	2	1,5	1,5	1,5	6,5	3	2	8	5
»	80 »	120	0,5	4,5	3	2	2	2	8	4	3,5	9,5	6
»	120 »	180	0,5	5,5	3	2,5	2,5	2	9	5	3,5	10,5	7,5
»	180 »	260	—	—	—	—	—	2	11	6	4	13	8
»	260 »	360	—	—	—	—	—	2	13	8	4	15	10
»	360 »	500	—	—	—	—	—	2	15	10	4	17	12

ТАБЛИЦА 2.1

2а, 3 и 3а классов точности

отклонения

1203, 1205)

сков валов

 $= B; D;$
 $C_{2a} = B_{2a}$
 $Ш; \mathcal{L}X; Pr_{21}^2; X_{2a}; Pr_{31}^3;$
 $Pr_{23}^2; Pr_{13}^1; C_3 = B_3$
 $X_3; Ш_3; C_{3a} = B_{3a}$

размеров калибров в мкм

Р-НЕ		Р-ПР			Р-НЕ		Р-ПР			Р-НЕ	
верхнее	нижнее	НОВЫХ		изношенных	верхнее	нижнее	НОВЫХ		изношенных	верхнее	нижнее
		верхнее	нижнее				верхнее	нижнее			
+	-	-	-	+	+	-	-	-	+	+	-
1	1	0	4	3	2	2	2,5	7,5	3	2,5	2,5
1,5	1,5	1	5	3	2	2	3,5	8,5	3	2,5	2,5
1,5	1,5	1	5	3	2	2	4	10	3	3	3
1,5	1,5	1,5	6,5	4	2,5	2,5	4	12	4	4	4
2	2	2	8	4	3	3	4,5	13,5	4	4,5	4,5
2	2	2,5	9,5	5	3,5	3,5	5,5	16,5	5	5,5	5,5
2,5	2,5	3	11	5	4	4	6,5	19,5	5	6,5	6,5
3	3	3,5	12,5	6	4,5	4,5	7,5	22,5	6	7,5	7,5
3,5	3,5	3,5	14,5	7,5	5,5	5,5	9	27	6	9	9
4,5	4,5	4	17	8	6,5	6,5	9	29	8	10	10
5,5	5,5	4	19	10	7,5	7,5	10	32	9	11	11
6,5	6,5	4	22	12	9	9	11	36	11	12,5	12,5

Калибры рабочие для валов 4, 5,

Предельные

(по ОСТ 1219,

Интервалы номинальных размеров в мм	Поля до					
	$C_4 = B_4; X_4; L_4; Ш_4$					
	Предельные от					
	Р-ПР				Р-НЕ	
	новых		изношенных		верхнее	нижнее
	верхнее	нижнее	неполностью	полностью		
	-	-	-	+	+	-
От 1 до 3	6,5	13,5	1	3	3,5	3,5
Св. 3 » 6	8	16	1	3	4	4
» 6 » 10	9,5	18,5	1	3	4,5	4,5
» 10 » 15	10,5	21,5	1	4	5,5	5,5
» 15 » 30	12,5	25,5	1	5	6,5	6,5
» 30 » 50	14,5	29,5	1	6	7,5	7,5
» 50 » 80	16	34	1	8	9	9
» 80 » 120	17,5	38,5	1	10	10,5	10,5
» 120 » 180	19	43	0,5	13	12	2
» 180 » 260	20	47	0	16	13,5	13,5
» 260 » 360	21	51	+1	19	15	15
» 360 » 500	22	57	+1,5	23	17,5	17,5

ТАБЛИЦА 2.2

7, 8, 9 и 10-го классов точности

о ∇ клонения

1220, 1221)

пусков валов											
$G_5 = B_5; X_5; B_7$						$B_8; B_9; B_{10}$					
клонения размеров калибров в мкм											
Р-ПР				Р-НЕ		Р-ПР				Р-НЕ	
новых		изношенных				новых		изношенных			
верхнее	нижнее	неполностью	полностью			верхнее	нижнее	неполностью	полностью		
-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-
13	22	5,5	0	4,5	4,5	22	36	7	0	7	7
16	28	6,5	0	6	6	28	46	10	0	9	9
20	35	7,5	0	7,5	7,5	35	57	12	0	11	11
24	42	9	0	9	9	42	69	14	0	14	13
28	49	11	0	10,5	10,5	49	82	18	0	17	16
33	58	14,5	0	12,5	12,5	58	97	22	0	20	19
40	70	17,5	0	15	15	70	116	26	0	23	23
47	82	20,5	0	17,5	17,5	82	136	31	0	27	27
55	95	22,5	0	20	20	95	158	34	0	32	31
62	110	26	0	23,5	23,5	110	183	40	0	37	36
70	124	29	0	27	27	124	208	46	0	42	42
78	140	33	0	31	31	140	235	54	0	48	47

Калибры контрольные к рабочим калибрам

Предел ь н ы е

(по ОСТ

Интервалы номинальных размеров в мм			Поля до									
			$\begin{aligned} &Gr; Pr; Pl; G; T; H; P; \\ &C = B; D; Pr_{2a}^1; R_{2a}; T_{2a}; \\ &H_{2a}; P_{2a}; C_{2a} = B_{2a} \end{aligned}$						χ			
			Предел ь н ы е откл о									
			К-РП		К-И		К-НЕ		К-РП		К-И	
			верхнее	нижнее	верхнее	нижнее	верхнее	нижнее	верхнее	нижнее	верхнее	нижнее
			-	-	+	+	-	-	-	-	+	+
От	1 до	3	2	3,5	1,5	0	0	1,5	1	2,5	3	1,5
Св.	3 »	6	2,5	4,5	2	0	0	2	2	4	3,5	1,5
»	6 »	10	2	4	2,5	0,5	0	2	2,5	4,5	3	1
»	10 »	18	2,5	4,5	2	0	0	2	3	5	4	2
»	18 »	30	4	6	3	1	1	3	5	7	4	2
»	30 »	50	4,5	7,5	3	0	1	4	5,5	8,5	5	2
»	50 »	80	6	9	3	0	2	5	7,5	10,5	5	2
»	80 »	120	7	11	4	0	2	6	8,5	12,5	6	2
»	120 »	180	7	12	5	0	1,5	6,5	8,5	13,5	7,5	2,5
»	180 »	260	8,5	14,5	6	0	2	8	10,5	16,5	8	2
»	260 »	360	9,5	16,5	8	1	2	9	11,5	18,5	10	3
»	360 »	500	11	19	10	2	2,5	10,5	13	21	12	4

ТАБЛИЦА 2.3

для валов 2, 2а, 3, 3а классов точности
отклонения
1213 и 1215)

пусков валов													
л		Ш; ТХ; Пр ³ ₃ ; Пр ² ₃ ; Пр ¹ ₃ ; С ₃ = В ₃						Х ₃ ; Ш ₃ ; С _{3а} = В _{3а}					
нения контркалибров в мкм													
К-НЕ		К-РП		К-И		К-НЕ		К-РП		К-И		К-НЕ	
верхнее	нижнее	верхнее	нижнее	верхнее	нижнее	верхнее	нижнее	верхнее	нижнее	верхнее	нижнее	верхнее	нижнее
-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-
0	1,5	3	4,5	3	1,5	1	2,5	6	8	3	1	1	3
0	2	3,5	5,5	3	1	0,5	2,5	6	9	3	0	0	3
0	2	3,5	5,5	3	1	0,5	2,5	7,5	10,5	3	0	0,5	3,5
0	2	5	7	4	2	1	3	9,5	12,5	4	1	1,5	4,5
1	3	7	9	4	2	2	4	10,5	14,5	4	0	1,5	5,5
1	4	8,5	11,5	5	2	2,5	5,5	14,5	18,5	5	1	3,5	7,5
2	5	10,5	13,5	5	2	3,5	6,5	17	22	5	0	4	9
2	6	11,5	15,5	6	2	3,5	7,5	19,5	25,5	6	0	4,5	10,5
1,5	6,5	12,5	17,5	7,5	2,5	3,5	8,5	23	30	6	-1	5	12
2	8	14,5	20,5	8	2	4	10	23,5	32,5	8	-1	4,5	13,5
2	9	15,5	22,5	10	3	4	11	24,5	35,5	9	-2	3,5	14,5
2,5	10,5	18	26	12	4	5	13	27	40	11	-2	3,5	16,5

Калибры контрольные к рабочим калибрам для

Предел ь н ы е

(по ОСТ 1219,

Интервалы номинальных размеров в мм			Поля до					
			$C_4 = B_4; X_4; L_4; Ш_4$					
			Предел ь н ы е от					
			К-РП		К-И		К-НЕ	
			верхнее	нижнее	верхнее	нижнее	верхнее	нижнее
			-	-	+	+	-	-
От	1 до	3	11	14	4,5	1,5	1	4
Св.	3 »	6	13,5	16,5	4,5	1,5	1,5	4,5
»	6 »	10	16	19	4,5	1,5	2	5
	10 »	18	19	22	5,5	2,5	3	6
»	18 »	30	22,5	26,5	7	3	3,5	7,5
	30 »	50	27,5	31,5	8	4	5,5	9,5
»	50 »	80	31,5	36,5	10,5	5,5	6,5	11,5
	80 »	120	35,5	41,5	13	7	7,5	13,5
»	120 »	180	39	46	16,5	9,5	8	15
	180 »	260	41,5	50,5	20,5	11,5	8	17
»	260 »	360	43,5	54,5	24,5	13,5	8	19
	360 »	500	48	61	29,5	16,5	8,5	21,5

ТАБЛИЦА 2.4

валов 4, 5, 7, 8, 9 и 10-го классов точности

отклонения

1220, 1221)

пусков валов											
$C_5 = B_5; X_5; B_7$						$B_8; B_9; B_{10}$					
клонения контркалибров в мкм											
К-РП		К-И		К-НЕ		К-РП		К-И		К-НЕ	
верхнее	нижнее	верхнее	нижнее	верхнее	нижнее	верхнее	нижнее	верхнее	нижнее	верхнее	нижнее
-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-
18,5	22,5	2	2	1	5	31	36	2	3	2	7
24,5	28,5	2	2	2,5	6,5	41	46	2	3	4	9
31,5	35,5	2	2	4	8	51	57	3	3	5	11
37,5	42,5	2,5	2,5	4,5	9,5	61	69	4	4	6	14
44	50	3	3	5,5	11,5	74	83	4	5	8	17
53	60	3,5	3,5	7,5	14,5	88	99	5	6	10	21
64,5	72,5	4	4	9,5	17,5	105	118	6	7	12	25
76	85	4,5	4,5	11,5	20,5	124	139	7	8	15	30
87	98	5,5	5,5	12	23	143	161	9	9	16	34
100,5	113,5	6,5	6,5	14	27	166	186	10	10	19	39
112,5	127,5	7,5	7,5	15,5	30,5	189	211	11	11	23	45
126	144	9	9	17	35	214	239	12	13	26	51

Калибры рабочие для отверстий 1,
Предельные
(по ГОСТ 1204,

Интервалы номинальных размеров в мм	Поля до									
	$P_1; T_1; H_1; P_1; \sigma_1 = A_1$ D_1					$X_1; Fr; Pr; F; T; H; P;$ $C = A; D; X$				
	Предельные от									
	Р-ПР			Р-НБ		Р-ПР ¹			Р-НБ	
	новых		изношенных	верхнее	нижнее	новых		изношенных	верхнее	нижнее
	верхнее	нижнее				верхнее	нижнее			
	+	+	-	+	-	+	+	-	+	-
От 1 до 3	1,5	0	1	1	0,5	3	1	1,5	1	1
Св. 3 » 6	2,5	0,5	1	1	1	4	1	2	1,5	1,5
» 6 » 10	2,5	0,5	1	1	1	3,5	0,5	2,5	1,5	1,5
» 10 » 18	3	1	1,5	1	1	4	1	2	1,5	1,5
» 18 » 30	3	1	1,5	1	1	5	1	3	2	2
» 30 » 50	4	1	2	1,5	1,5	5,5	1,5	3	2	2
» 50 » 80	4	1	2	1,5	1,5	6,5	1,5	3	2,5	2,5
» 80 » 120	5	1	3	2	2	8	2	4	3	3
» 120 » 180	6,5	1,5	3	2,5	2,5	9	2	5	3,5	3,5
» 180 » 260	—	—	—	—	—	11	2	6	4,5	4,5
» 260 » 360	—	—	—	—	—	13	2	8	5,5	5,5
» 360 » 500	—	—	—	—	—	15	2	10	6,5	6,5

¹ Кроме калибра Р-ПР для отверстия X

ТАБЛИЦА 2.5

2, 2а, 3, 3а классов точности

отклонения

1205, 1207)

пусков отверстий

X			$L; Ш; l'_{2a}; Pp_{2a}; T_{2a};$ $H_{2a}; P_{2a}; C_{2a}=A_{2a};$ $C_3=A_3$			$X_3; Ш_3; C_{3a}=A_{3a}$						
клонения размеров калибров в мкм												
Р-ПР			Р-ПР			Р-НЕ		Р-ПР			Р-НЕ	
новых		изношенных	новых		изношенных	верхнее	нижнее	новых		изношенных	верхнее	нижнее
верхнее	нижнее		верхнее	нижнее				верхнее	нижнее			
+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	-	+	-
2	0	3	4	0	3	2	2	7,5	2,5	3	2,5	2,5
3,5	0,5	3,5	5	1	3	2	2	8,5	3,5	3	2,5	2,5
4	1	3	5	1	3	2	2	10	4	3	3	3
4,5	1,5	4	6,5	1,5	4	2,5	2,5	12	4	4	4	4
6	2	4	8	2	4	3	3	13,5	4,5	4	4,5	4,5
6,5	2,5	5	9,5	2,5	5	3,5	3,5	16,5	5,5	5	5,5	5,5
8	3	5	11	3	5	4	4	19,5	6,5	5	6,5	6,5
9,5	3,5	6	12,5	3,5	6	4,5	4,5	22,5	7,5	6	7,5	7,5
10,5	3,5	7,5	14,5	3,5	7,5	5,5	5,5	27	9	6	9	9
13	4	8	17	4	8	6,5	6,5	29	9	8	10	10
15	4	10	19	4	10	7,5	7,5	32	10	9	11	11
17	4	12	22	4	12	9	9	36	11	11	12,5	12,5

Предельные отклонения калибров указанные в табл. 2.1—2.7, отсчитываются:

а) пробок Р-ПР — от наименьших предельных, а пробок Р-НЕ — от наибольших предельных размеров отверстия;

б) скоб Р-ПР и контркалибров к ним К-РП и К-И — от наибольших предельных, а скоб Р-НЕ и контркалибров К-НЕ — от наименьших предельных размеров вала.

Поэтому при расчете размеров калибров необходимо кроме данных табл. 2.1—2.7 знать предельные отклонения размеров деталей (см. табл. 1.7—1.13), для которых рассчитывается калибр.

Пример 1. Расчет калибров и контркалибров для контроля сопряжения $30 \frac{X_3}{B_3}$ производится на основе данных табл. 1.12, 2.5, 2.1, 2.3 и рис. 2.4, а.

а) Расчет размеров рабочих калибров пробок для отверстия $30X_3 \left(\begin{smallmatrix} +0,085 \\ +0,025 \end{smallmatrix} \right)$ (см. табл. 1.12).

Согласно табл. 2.5 и рис. 2.4, а

Р-ПР (новый): $30,025 \begin{smallmatrix} +0,0135 \\ +0,0045 \end{smallmatrix} = 30,0385_{-0,009}$;

Р-ПР (изношенный): $30,025 + (-0,004) = 30,021$;

Р-НЕ: $30,085 \pm 0,0045 = 30,0895_{-0,009}$.

б) Расчет размеров калибров и контркалибров для вала $30B_3 (-0,045)$ (см. табл. 1.12).

Согласно табл. 2.1 и рис. 2.4, а

Р-ПР (новый): $30 \begin{smallmatrix} +0,002 \\ -0,008 \end{smallmatrix} = 29,992 + 0,006$;

Р-ПР (изношенный): $30 + 0,004 = 30,004$;

Р-НЕ: $29,955 \pm 0,003 = 29,952 + 0,006$.

Согласно табл. 2.3 и рис. 2.4, а

К-РП: $30 \begin{smallmatrix} -0,007 \\ -0,009 \end{smallmatrix} = 29,993_{-0,002}$;

К-НЕ: $29,955 \begin{smallmatrix} -0,002 \\ -0,004 \end{smallmatrix} = 29,953_{-0,002}$;

К-И: $30 \begin{smallmatrix} +0,004 \\ +0,002 \end{smallmatrix} = 30,004_{-0,002}$.

Пример 2. Для сопряжения $50 \frac{A_5}{C_5}$ расчет производится на основе данных табл. 1.10, 2.6, 2.2, 2.4 и рис. 2.4, в.

а) Расчет размеров рабочих калибров для отверстия $50A_5 \left(\begin{smallmatrix} +0,34 \\ +0,10 \end{smallmatrix} \right)$ (см. табл. 1.10).

Согласно табл. 2.6 и рис. 2.4, в

Р-ПР (новый): $50 \begin{smallmatrix} +0,058 \\ +0,033 \end{smallmatrix} = 50,058_{-0,025}$;

Р-ПР (изношенный частично): $50 + 0,0145 = 50,0145$ (по достижении этого размера калибр не должен выдаваться рабочему);

Р-ПР (изношенный полностью): 50;

Р-НЕ: $50,34 \pm 0,0125 = 50,3525_{-0,025}$.

б) Расчет размеров калибров и контркалибров для вала $50C_5 (-0,34)$ (см. табл. 1.10).

Согласно табл. 2.2 и рис. 2.4, в

Р-ПР (новый): $50 \begin{smallmatrix} -0,033 \\ -0,058 \end{smallmatrix} = 49,942 + 0,025$;

Р-ПР (изношенный частично): $50 + (-0,0145) = 49,9855$ (по достижении этого размера калибр не должен выдаваться рабочему);

Р-ПР (изношенный полностью): 50;

Р-НЕ: $49,660 \pm 0,0125 = 49,6475^{+0,025}$

Согласно табл. 2.4 и рис. 2.4, в

К-РП: $50 - \frac{0,053}{0,060} = 49,947_{-0,007}$;

К-НЕ: $49,660 - \frac{0,0075}{0,0145} = 49,6525_{-0,007}$;

К-И: $50 \pm 0,0035 = 50,0035_{-0,007}$.

Пример 3. Расчет калибров для контроля отверстия $0,9A_5^{(+0,070)} = 0,9C_5^{(+0,070)}$ производится на основе данных табл. 1.8, 2.7 и рис. 2.5.

Согласно табл. 2.7 и рис. 2.5

Р-ПР (новый): $0,9 + \frac{0,013}{0,006} = 0,913_{-0,007}$;

Р-НЕ: $0,97_{-0,007}$;

Р-ПР (изношенный): 0,9.

Отклонения формы измерительных поверхностей калибров и контр-калибров не должны превышать 60% допуска на неточность их изготовления (ГОСТ 2015—69, п. 1.11).

Шероховатость измерительных поверхностей калибров и контр-калибров не должна быть грубее указанной в табл. 2.8 (по ГОСТ 2015—69, ГОСТ 17320—71 и инструкции 71—58 Комитета стандартов, мер и измерительных приборов СССР).

ТАБЛИЦА 2.8

**Шероховатость измерительных поверхностей
калибров и контркалибров**

Калибры	Контр-калибры	Интервалы размеров в мм			
Для изделий классов точности		0,1—100	100—360	360—500	500—3150
Классы чистоты по ГОСТ 2789—59 ¹					
1	2—3	12	11	10	—
2, 2а	3а и грубее	11	10		9
3					
3а, 4	—	10	9	8	8
5					
6 и грубее			9	9	

¹ Соответствующие указанным классам значения параметров шероховатости по ГОСТ 2789—73 приведены в главе двенадцатой.

¹ Соответствующие указанным классам значения параметров шероховатости по ГОСТ 2789—73 приведены в главе двенадцатой.

Допуски калибров для размеров св. 500 мм

Контроль деталей с размерами св. 500 мм рекомендуется производить универсальными средствами измерения (глава пятая). Для контроля валов и отверстий 3—11-го классов точности (по ГОСТ 2689—54) могут применяться жесткие калибры. В качестве контркалибров для скоб до 2000 мм следует использовать блоки плоскопараллельных мер длины. Для скоб, проверяющих диаметр изделия, блоки концевых мер следует применять в сочетании с боковиками, имеющими цилиндрическую измерительную поверхность. Допуски на изготовление и износ и предельные отклонения калибров и контркалибров для размеров св. 500 до 3150 мм установлены ГОСТ 13810—68¹.

Расположение полей допусков калибров и контркалибров соответствует схеме по ОСТ 1219, ОСТ 1221 (см. рис. 2.4, в), но имеет следующие отличия:

- а) приемные калибры и контркалибры к ним не предусматриваются;
- б) установлено поле допуска на износ рабочих калибров НЕ и предусмотрено поле допуска контркалибров КИ-НЕ, предназначенных для контроля износа непроходных скоб;
- в) граница поля допуска на износ калибров ПР для изделий 3, 3а, 4 и 5-го классов точности не совпадает с границей (находится внутри) поля допуска контролируемого изделия.

Эксплуатация калибров

Перед контролем рабочие калибры и изделия должны быть выдержаны у рабочего места в течение времени, необходимого для выравнивания их температур. Отклонение температуры от нормальной 20° С при контроле деталей калибрами приводит к погрешности, вызываемой неравенством температурных коэффициентов линейного расширения и различием температур изделия и калибра.

Разность размеров изделия и рабочего калибра Δl , вызванная этими причинами, может быть определена по формуле, приведенной на стр. 449.

Допускаемые отклонения от нормальной температуры должны быть тем меньше, чем больше размер и разность температурных коэффициентов расширения калибров и детали и чем меньше допуск последней. Недопустим контроль нагретых при обработке деталей. На калибрах для средних и больших размеров предусмотрены теплоизолирующие устройства (накладки, ручки и т. д.).

При проверке размеров изделия рабочими калибрами проходные калибры должны свободно проходить под действием собственного веса или установленной нагрузки, а непроходные не должны проходить.

Размеры калибров не остаются постоянными вследствие износа (пробки и скобы) и деформаций (скобы). О скорости износа гладких калибров пробок и скоб, изготовленных из материалов, рекомендуемых по ГОСТ 2015—69 (углеродистые У10А, У12А, хромистые Х, ШХ15 и цементруемые стали марок 15 и 20 по ГОСТ 1050—60 без износостойких покрытий) можно судить по данным, приведенным в табл. 2.9, составленной Бюро взаимозаменяемости Министерства станкостроительной и инструментальной промышленности.

¹ На конструктивные размеры скоб для контроля длин св. 500 до 2000 мм имеются нормы машиностроения — МН 1810—61 и МН 1811—61.

ТАБЛИЦА 2.9

Количество измерений на 1 мкм износа проходных гладких пробок и скоб

Интервалы диаметров в мм	Типы калибров													
	Гладкие пробки							Гладкие скобы						
	Классы точности													
	2	3	4	5	7	8	9	2	3	4	5	7	8	9
1—6	800	1200	2000	2400	2600	2800	3000	1280	1920	3200	3840	4160	4480	4800
6—30	540	800	1340	1610	1740	1880	2000	960	1440	2400	2880	3120	3360	3600
30—80	340	520	860	1030	1120	1210	1290	640	960	1600	1920	2080	2240	2400
80—180	260	380	640	770	830	900	960	450	670	1120	1350	1460	1570	1680
180—260	210	310	520	620	680	730	780	360	550	910	1090	1180	1270	1360

Примечания.

1. Приведенные данные относятся к случаям контроля чугунных и алюминиевых изделий. При контроле изделий из стали и стального чугуна количество измерений надо увеличить в 3 раза, а при контроле изделий из бронзы и латуни — в 5 раз.

2. Для непроходных калибров количество измерений увеличивается в 3 раза против данных таблицы, а также данных с учетом п. 1 примечания.

Для повышения износостойкости калибров применяются:

а) оснащение рабочих поверхностей калибров твердым сплавом марки ВК6 или ВК6М по ГОСТ 3882—67, что повышает их износостойкость в десятки раз;

б) хромирование, повышающее износостойкость в 3—5 раз и более в зависимости от толщины слоя хрома и технологии хромирования; целесообразнее применять тонкие слои хрома (толщиной 2—5 мкм).

Износостойкость измерительных поверхностей калибров в большой мере зависит от тщательности их отделки (см. табл. 2.8).

Основная причина снижения износостойкости калибров — истирание измерительных поверхностей в процессе их эксплуатации. Одной из причин потери калибрами своих размеров является естественное их старение, т. е. свойство закаленных стальных деталей с течением времени изменять размеры и форму. Для того чтобы довести эти изменения до возможного минимума, калибры в процессе изготовления подвер-

ТАБЛИЦА 2.10

Средства проверки рабочих размеров калибров
(по ГОСТ 17320—71)

Калибры		Размеры в мм	Средства проверки
для валов	для отверстий		
классов точности			
3—11	—	Св. 500 до 2000	Плоскопараллельные концевые меры длины 5-го разряда по Инструкции 100—60
		Св. 500 до 1200	Линейный измеритель из концевых мер длины (по ГОСТ 17320—71)
5—11	—	Св. 500 до 3150	Микрометрический нутромер по ГОСТ 10—53
—	3	Св. 500 до 2000	Концевая измерительная машина типа ИЗМ по ГОСТ 10875—64. Концевые меры 5-го разряда
	3а—11	Св. 500 до 3150	Концевая измерительная машина по ГОСТ 10875—64 или аналогичные машины зарубежных фирм
	5; 7 8—11	Св. 630 до 1000 Св. 630 до 2000	Рычажный микрометр типа МРИ по ГОСТ 4381—68
	4—11	Св. 500 до 1200	Линейный измеритель из концевых мер длины (по ГОСТ 17320—71)

ТАБЛИЦА 2.11

Допускаемые отклонения температуры
рабочего пространства¹ в °С от нормальной (+20° С)
при измерении размеров калибров

Назначение калибров	Измеряемые размеры калибров в мм	Допускаемые от- клонения темпе- ратуры от 20° С	Допускаемые изменения температуры	
			в течение 0,5 ч	в течение 12 ч
Калибры рабочие для изде- лий 1, 2, 2а, 3, 3а классов точ- ности Калибры контрольные	Св. 1 до 18	±1,5	0,2	1,0
	» 18 » 50	±1,0	0,1	0,5
	» 50 » 500	±0,5	0,1	0,5
Калибры рабочие для изде- лий 4, 5, 7, 8, 9, 10-го классов точности	Св. 1 до 18	±3	0,5	3,0
	» 18 » 50	±2	0,2	2,0
	» 50 » 500	±1	0,1	0,5

¹ Рабочее пространство — часть пространства, окружающего средство и объект измерения, действием влияющих величин вне кото-
рой на результат измерения можно пренебречь (ГОСТ 8.050—73).

ТАБЛИЦА 2.12

Минимальное время выдержки (в ч) калибров
в рабочем пространстве перед поверкой

Назначение калибров	Масса калибра в кг	Время выдержки
Калибры рабочие для изделий 1, 2, 2а, 3, 3а классов точности * Калибры контрольные *	До 10	4
	Св. 10 до 50	8
	» 50 » 200	14
Калибры рабочие для изделий 4, 5, 7, 8, 9, 10-го классов точности **	До 10	3
	Св. 10 до 50	6
	» 50 » 200	10

П р и м е ч а н и е. При отклонениях температуры калибров, помещаемых в рабочее пространство, от 20° С более чем 2,5 и 3,5° С соответственно для калибров, отмеченных знаками * и **, время выдержки должно быть увеличено.

гаются искусственному старению. С этой целью производится нагрев рабочих частей калибров при температуре 130—150° С в течение 2—3 ч между операциями предварительного и окончательного их шлифования.

Средства и методы проверки размеров гладких калибров установлены ГОСТ 17320—71 и инструкцией 71—58 Комитета стандартов мер и измерительных приборов СССР (табл. 2.10).

Проверка калибров производится при нормальной температуре; допускаемые отклонения температуры согласно ГОСТ 8.050—73 приведены в табл. 2.11.

Перед проверкой для выравнивания температур поверяемых калибров и средств измерения калибры должны находиться в рабочем пространстве в течение времени, указанного в табл. 2.12, а средства измерений — в условиях, приведенных в табл. 2.11, не менее 24 ч.

2. КОНТРОЛЬ РАЗМЕРОВ ГЛУБИН И ВЫСОТ УСТУПОВ¹

Согласно ГОСТ 2534—67, при выборе допусков на размеры глубин и высот уступов необходимо использовать 4—9-й классы точности и лишь в случаях особой необходимости прибегать к более точным классам.

В условиях серийного и массового производства контроль этих размеров надлежит вести с помощью предельных калибров.

Методы и средства контроля

Основными методами контроля являются: «метод световой щели», или «на просвет»; методы «надвигания», «осязания», «по рискам».

От выбранного метода зависят и средства контроля, основные разновидности которых приведены на рис. 2.6. На рис. 2.6, *а, б, в* показаны предельные калибры, применяемые при контроле методом «световой щели», или «на просвет»; на рис. 2.6, *г, д, е* — калибры для контроля методом «надвигания»; на рис. 2.6, *ж, з* — калибры для контроля методом «осязания»; на рис. 2.6, *и, к* — для контроля «по рискам».

Согласно ГОСТ 2534—67 предельные стороны калибров по рис. 2.6, *а—е* обозначаются буквами *Б* (большая) и *М* (меньшая) в отличие от обозначений *ПР* и *НБ*, принятых для калибров пробок и скоб.

Каждая из сторон калибра (*Б* и *М*) должна иметь одну лезвиеподобную грань для уменьшения погрешностей контроля вследствие неровностей на обработанных поверхностях и плоскую грань, которая улучшает условия оценки величины просвета (рис. 2.6, *а—в*).

Кроме предельных рабочих калибров *Б* и *М* ГОСТ 2534—67 предусматривает приемные калибры *П-Б* и *П-М*, предназначенные для проверки правильности размеров изделий представителями заказчика. При этом размеры калибров *П-Б* и *П-М* близки соответственно наибольшему и наименьшему предельным размерам изделия.

В тех случаях, когда контроль «на просвет» неприемлем, рекомендуется контроль методом «надвигания» с применением калибров (рис. 2.6, *г, д, е*) или ступенчато-стержневых (рис. 2.6, *ж, з*). При контроле размеров уступов плоских деталей, обработанных на соответствующих станках или слесарной обработкой, удобны калибры, изображенные на рис. 2.6, *г, д*, а при контроле уступов на точеных деталях — калибры, показанные на рис. 2.6, *е, з*. Калибры, изображенные на

¹ Раздел переработан Ю. А. Бойцовым.

рис. 2.6, ж, к, удобны при контроле размеров глубин соответствующих деталей.

Калибрами по методу «световой щели» контролируются допуски не менее 0,04 мм у тонкошлифованных деталей и не менее 0,06 мм при более

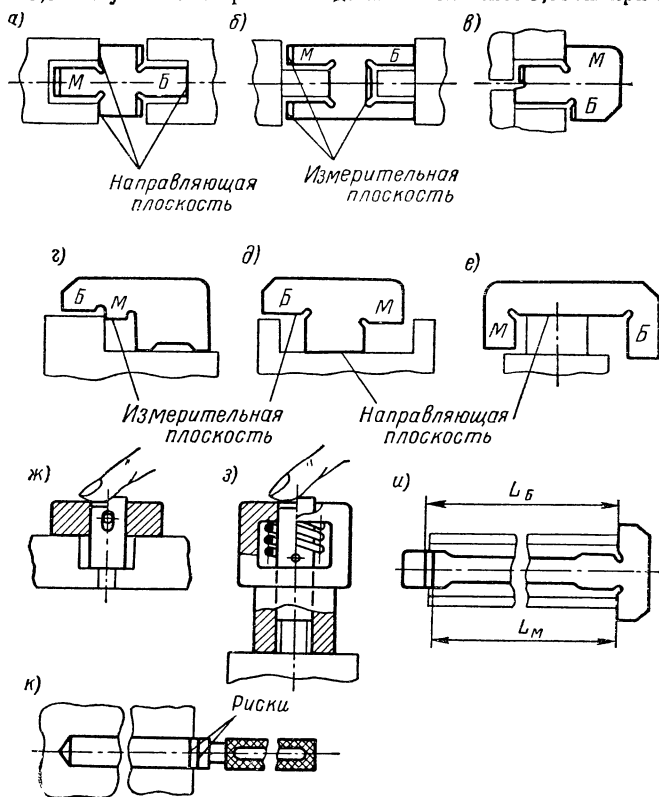


Рис. 2.6

грубой обработке. Минимальные допуски изделий, контролируемых ступенчато-стержневыми калибрами, составляют 0,03 мм, контролируемых по «ощущению» — 0,01 мм и рисочными калибрами — порядка нескольких десятых миллиметра.

Допуски калибров

На рис. 2.7 схематически изображены три типа расположения полей допусков калибров относительно полей допусков для контролируемых размеров изделий, принятые по ГОСТ 2534—67.

У калибров типа I размеры сторон Б и М при эксплуатации из-за износа уменьшаются. У калибров типа II эти размеры по той же причине

Допуски и предельные отклонения калибров
(по ГОСТ

Интервалы номинальных размеров в мм	Допуск на изготовление в мкм	Предельные					
		Тип I					
		Сторона B			Сторона M		
		новых		изношенных	новых		изношенных
		верхнее	нижнее		верхнее	нижнее	

Для размеров изделий

От	1	до	3	4	0	-4	-12	+12	+8	0
Св.	3	»	6	5	0	-5	-14	+14	+9	0
»	6	»	10	6	0	-6	-17	+17	+11	0
»	10	»	18	8	0	-8	-20	+20	+12	0
»	18	»	30	9	0	-9	-23	+23	+14	0
»	30	»	50	11	0	-11	-27	+27	+16	0
»	50	»	80	13	0	-13	-31	+31	+18	0
»	80	»	120	15	0	-15	-35	+35	+20	0
»	120	»	180	18	0	-18	-41	+41	+23	0
»	180	»	260	20	0	-20	-50	+50	+30	0
»	260	»	360	23	0	-23	-56	+56	+33	0
»	360	»	500	27	0	-27	-68	+68	+41	0

Для размеров изделий

От	1	до	3	6	0	-5	-21	+21	+15	0
Св.	3	»	6	8	0	-8	-26	+26	+18	0
»	6	»	10	9	0	-9	-29	+29	+20	0
»	10	»	18	11	0	-11	-34	+34	+23	0
»	18	»	30	13	0	-13	-38	+38	+25	0
»	30	»	50	16	0	-16	-45	+45	+29	0
»	50	»	80	19	0	-19	-52	+52	+33	0
»	80	»	120	22	0	-22	-58	+58	+36	0
»	120	»	180	25	0	-25	-65	+65	+40	0
»	180	»	260	29	0	-29	-86	+86	+57	0
»	260	»	360	32	0	-32	-96	+96	+64	0
»	360	»	500	40	0	-40	-118	+118	+78	0

ТАБЛИЦА 2.13

для размеров глубин и высот уступов
2534—67)

отклонения в мкм

Тип II						Тип III					
Сторона Б			Сторона М			Сторона Б			Сторона М		
новых		изношенных	новых		изношенных	новых		изношенных	новых		изношенных
верхнее	нижнее		верхнее	нижнее		верхнее	нижнее		верхнее	нижнее	

4-го класса точности

-8	-12	0	+4	0	+12	0	-4	-12	+4	0	+12
-9	-14	0	+5	0	+14	0	-5	-14	+5	0	+14
-11	-17	0	+6	0	+17	0	-6	-17	+6	0	+17
-12	-20	0	+8	0	+20	0	-8	-20	+8	0	+20
-14	-23	0	+9	0	+23	0	-9	-23	+9	0	+23
-16	-27	0	+11	0	+27	0	-11	-27	+11	0	+27
-18	-31	0	+13	0	+31	0	-13	-31	+13	0	+31
-20	-35	0	+15	0	+35	0	-15	-35	+15	0	+35
-23	-41	0	+18	0	+41	0	-18	-41	+18	0	+41
-30	-50	0	+20	0	+50	0	-20	-50	+20	0	+50
-33	-56	0	+23	0	+56	0	-23	-56	+23	0	+56
-41	-68	0	+27	0	+68	0	-27	-68	+27	0	+68

5-го класса точности

-15	-21	0	+6	0	+21	0	-6	-21	+6	0	+21
-18	-26	0	+8	0	+26	0	-8	-26	+8	0	+26
-20	-29	0	+9	0	+29	0	-9	-29	+9	0	+29
-23	-34	0	+11	0	+34	0	-11	-34	+11	0	+34
-25	-38	0	+13	0	+38	0	-13	-38	+13	0	+38
-29	-45	0	+16	0	+45	0	-16	-45	+16	0	+45
-33	-52	0	+19	0	+52	0	-19	-52	+19	0	+52
-36	-58	0	+22	0	+58	0	-22	-58	+22	0	+58
-40	-65	0	+25	0	+65	0	-25	-65	+25	0	+65
-57	-86	0	+29	0	+86	0	-29	-86	+29	0	+86
-64	-96	0	+32	0	+96	0	-32	-96	+32	0	+96
-78	-118	0	+40	0	+118	0	-40	-118	+40	0	+118

Интервалы номинальных размеров в мм		Допуск на изготовление в мкм	Предельные						
			Тип 1						
			Сторона В			Сторона М			
			новых		изношенных	новых		изношенных	
верхнее	нижнее	верхнее	нижнее						
Для размеров изделий									
От	1 до	3	10	0	-10	-25	+25	+15	0
Св.	3 »	6	12	0	-12	-30	+30	+18	0
»	6 »	10	15	0	-15	-35	+35	+20	0
»	10 »	18	18	0	-18	-41	+41	+23	0
»	18 »	30	21	0	-21	-46	+46	+25	0
»	30 »	50	25	0	-25	-54	+54	+29	0
»	50 »	80	30	0	-30	-63	+63	+33	0
»	80 »	120	35	0	-35	-71	+71	+36	0
»	120 »	180	40	0	-40	-80	+80	+40	0
»	180 »	260	46	0	-46	-123	+123	+77	0
»	260 »	360	52	0	-52	-136	+136	+84	0
»	360 »	500	63	0	-63	-176	+176	+113	0
Для размеров изделий 8									
От	1 до	3	10	0	-10	-45	+45	+35	0
Св.	3 »	6	12	0	-12	-54	+54	+42	0
»	6 »	10	15	0	-15	-63	+63	+48	0
»	10 »	18	18	0	-18	-73	+73	+55	0
»	18 »	30	21	0	-21	-82	+82	+61	0
»	30 »	50	25	0	-25	-92	+92	+67	0
»	50 »	80	30	0	-30	-105	+105	+75	0
»	80 »	120	35	0	-35	-117	+117	+82	0
»	120 »	180	40	0	-40	-130	+130	+90	0
»	180 »	260	46	0	-46	-193	+193	+147	0
»	260 »	360	52	0	-52	-216	+216	+164	0
»	360 »	500	63	0	-63	-271	+271	+208	0
Примечания:									
1. Отклонения размеров калибров должны считываться для стороны В									
2. Предельные отклонения приемных калибров для изделий 4—9-го клас									
III (рис. 2.7) для изделий соответствующих классов точности, причем сто									

Продолжение табл. 2.13

отклонения в мкм											
Тип II						Тип III					
Сторона Б			Сторона М			Сторона Б			Сторона М		
новых		изношенных	новых		изношенных	новых		изношенных	новых		изношенных
верхнее	нижнее		верхнее	нижнее		верхнее	нижнее		верхнее	нижнее	

7-го класса точности

-15	-25	0	+10	0	+25	0	-10	-25	+10	0	+25
-18	-30	0	+12	0	+30	0	-12	-30	+12	0	+30
-20	-35	0	+15	0	+35	0	-15	-35	+15	0	+35
-23	-41	0	+18	0	+41	0	-18	-41	+18	0	+41
-25	-46	0	+21	0	+46	0	-21	-46	+21	0	+46
-29	-54	0	+25	0	+54	0	-25	-54	+25	0	+54
-33	-63	0	+30	0	+63	0	-30	-63	+30	0	+63
-36	-71	0	+35	0	+71	0	-35	-71	+35	0	+71
-40	-80	0	+40	0	+80	0	-40	-80	+40	0	+80
-77	-123	0	+46	0	+123	0	-46	-123	+46	0	+123
-84	-136	0	+52	0	+136	0	-52	-136	+52	0	+136
-113	-176	0	+63	0	+176	0	-63	-176	+63	0	+176

и 9-го классов точности

-35	-45	0	+10	0	+45	0	-10	-45	+10	0	+45
-42	-54	0	+12	0	+54	0	-12	-54	+12	0	+54
-48	-63	0	+15	0	+63	0	-15	-63	+15	0	+63
-55	-73	0	+18	0	+73	0	-18	-73	+18	0	+73
-61	-82	0	+21	0	+82	0	-21	-82	+21	0	+82
-67	-92	0	+25	0	+92	0	-25	-92	+25	0	+92
-75	-105	0	+30	0	+105	0	-30	-105	+30	0	+105
-82	-117	0	+35	0	+117	0	-35	-117	+35	0	+117
-90	-130	0	+40	0	+130	0	-40	-130	+40	0	+130
-147	-193	0	+46	0	+193	0	-46	-193	+46	0	+193
-164	-216	0	+52	0	+216	0	-52	-216	+52	0	+216
-208	-271	0	+63	0	+271	0	-63	-271	+63	0	+271

от верхнего предельного размера изделия, а для стороны М — от нижнего. Сов. точности равны предельным отклонениям новых рабочих калибров типа роне П-Б соответствует в таблице сторона Б, а стороне П-М — сторона М.

увеличиваются, и, наконец у калибров типа III размеры сторон M при износе увеличиваются, а сторон B — уменьшаются.

Предельные отклонения сторон калибров B , $P-B$ отсчитываются от наибольшего предельного размера изделия, калибров M , $P-M$ — от наименьшего предельного размера изделия. Как видно из схемы, поля допусков калибров расположены в границах полей допусков изделий. Допуски на изготовление приемных и рабочих калибров одинаковы, но, в отличие от рабочих, приемные калибры не имеют поля допуска на износ.

Величины допусков и предельных отклонений калибров, зависящие от величин контролируемых размеров изделий и точности, с которой они изготовлены, приведены в табл. 2.13.

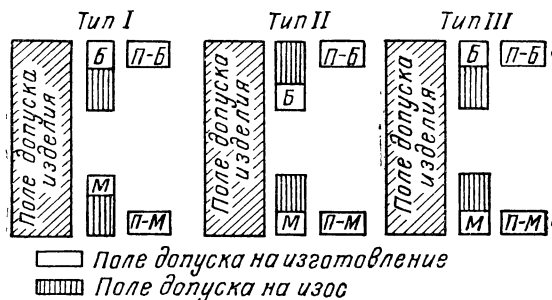


Рис. 2.7

Ниже приводятся примеры расчетов предельных размеров калибров для размеров глубин и высот уступов.

Пример 4. Рассчитать калибры типа I (см. рис. 2.7) для размера 40 B_4 .

По табл. 1.12 устанавливаем отклонения: верхнее 0, нижнее $-0,170$ мм.

Предельные размеры для изделия: наибольший 40 мм, наименьший 39,830 мм. Согласно табл. 2.13:

предельные размеры сторон рабочих калибров:

$$\begin{aligned} B_{\text{наиб. нов}} &= 40,000 \text{ мм;} \\ B_{\text{наим. нов}} &= 40 - 0,011 = 39,989 \text{ мм;} \\ B_{\text{изн}} &= 40 - 0,027 = 39,973 \text{ мм;} \\ M_{\text{наиб. нов}} &= 39,830 + 0,027 = 39,857 \text{ мм;} \\ M_{\text{наим. нов}} &= 39,830 + 0,016 = 39,846 \text{ мм;} \\ M_{\text{изн}} &= 39,830 \text{ мм;} \end{aligned}$$

предельные размеры сторон приемных калибров (см. примечание 2 к табл. 2.13):

$$\begin{aligned} P-B_{\text{наиб}} &= 40,000 \text{ мм;} \\ P-B_{\text{наим}} &= 40 - 0,011 = 39,989 \text{ мм;} \\ P-M_{\text{наиб}} &= 39,830 + 0,011 = 39,841 \text{ мм;} \\ P-M_{\text{наим}} &= 39,830 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Пример 5. Рассчитать калибры типа II (см. рис. 2.7) для размера 40 A₅.

По табл. 1.10 устанавливаем отклонения: верхнее $+0,340$ мм, нижнее 0.

Предельные размеры для изделий: наибольший 40,340 мм, наименьший 40 мм. Согласно табл. 2.13:

предельные размеры сторон рабочих калибров:

$$B_{\text{наиб. нов}} = 40,340 - 0,029 = 40,311 \text{ мм};$$

$$B_{\text{наим. нов}} = 40,340 - 0,045 = 40,295 \text{ мм};$$

$$B_{\text{изн}} = 40,340 \text{ мм};$$

$$M_{\text{наиб. нов}} = 40 + 0,016 = 40,016 \text{ мм};$$

$$M_{\text{наим. нов}} = 40 \text{ мм};$$

$$M_{\text{изн}} = 40 + 0,045 = 40,045 \text{ мм}.$$

предельные размеры сторон приемных калибров:

$$П-B_{\text{наиб}} = 40,340 \text{ мм};$$

$$П-B_{\text{наим}} = 40,340 - 0,016 = 40,324 \text{ мм};$$

$$П-M_{\text{наиб}} = 40 + 0,016 = 40,016 \text{ мм};$$

$$П-M_{\text{наим}} = 40 \text{ мм}.$$

Пример 6. Рассчитать калибры типа III (см. рис. 2.7) для размера 40СМ₇.

По табл. 1.13 устанавливаем отклонения: верхнее $+0,300$ мм, нижнее $-0,300$ мм.

Предельные значения для изделия: наибольший 40,300 мм, наименьший 39,700 мм. Согласно табл. 2.13:

предельные размеры сторон рабочих калибров:

$$B_{\text{наиб. нов}} = 40,300 \text{ мм};$$

$$B_{\text{наим. нов}} = 40,300 - 0,025 = 40,275 \text{ мм};$$

$$B_{\text{изн}} = 40,300 - 0,054 = 40,246 \text{ мм};$$

$$M_{\text{наиб. нов}} = 39,700 + 0,025 = 39,725 \text{ мм};$$

$$M_{\text{наим. нов}} = 39,700 \text{ мм};$$

$$M_{\text{изн}} = 39,700 + 0,054 = 39,754 \text{ мм};$$

предельные размеры сторон приемных калибров:

$$П-B_{\text{наиб}} = 40,300 \text{ мм};$$

$$П-B_{\text{наим}} = 40,300 - 0,025 = 40,275 \text{ мм};$$

$$П-M_{\text{наиб}} = 39,700 + 0,025 = 39,725 \text{ мм};$$

$$П-M_{\text{наим}} = 39,700 \text{ мм}.$$

3. КОНТРОЛЬ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ (ПО ГОСТ 520—71)

Потребитель имеет право производить контрольную проверку соответствия поступающих к нему подшипников требованиям стандарта, применяя правила приемки и методы испытаний, приведенные ниже.

1. Контроль подшипников должен производиться при одинаковой температуре деталей подшипников, эталонов и измерительных средств.

2. Нагрузки, применяемые при контроле биений собранных подшипников, должны соответствовать указанным в табл. 2.14.

ТАБЛИЦА 2.14

Нагрузки, применяемые при контроле биений подшипников
(по ГОСТ 520—71)

Номинальный внутренний диаметр d в мм	Нагрузка в Н	
	Радиальные шариковые подшипники	Радиально-упорные шариковые подшипники
От 10 до 30	5	40
Св. 30 » 50	10	80
» 50 » 80	15	120
» 80 » 120	30	150
» 120 » 180	60	200

П р и м е ч а н и е. Нагрузки, применяемые при контроле биений собранных подшипников с номинальным внутренним диаметром менее 10 мм и более 180 мм, устанавливаются предприятием-изготовителем по согласованию с потребителем.

3. Средняя конусообразность и биение оправок, применяемых при контроле подшипников, должны быть в пределах, указанных в табл. 2.15.

ТАБЛИЦА 2.15

Оправки для контроля подшипников
(по ГОСТ 520—71)

Номинальный диаметр оправки в мм	Биение оправки на всей длине в мкм не более				Средняя конусообразность на длине 100 мм в мкм
	Для подшипников классов точности				
	0	6	5	4 и 2	
До 3	2,0	1,5	1,0	0,7	8±1
Св. 3 до 30	2,0	1,3	0,7	0,5	8±1
» 30 » 50	2,0	1,5	1,0	0,7	10±1
» 50 » 80	3,0	2,0	1,5	1,0	13±1
» 80	4,0	2,5	1,5	1,0	15±1

4. Шероховатость посадочных поверхностей подшипников проверяется на измерительных приборах или визуально сравнением с образцами (решающей является проверка на приборах).

5. Диаметр D наружной поверхности колец подшипников измеряют на приборах по схеме 1 (рис. 2.8), поворачивая при этом кольцо вокруг оси на половину оборота. Определяют наибольший и наименьший диаметры D в каждом из двух крайних сечений кольца (у подшипников упорных только в среднем сечении). При $D \geq 300$ мм допускается проводить измерения в трех равнорасположенных по окружности радиальных направлениях по схеме 2.

Диаметр d отверстия колец подшипников измеряют на приборах по схемам 3 и 4 аналогично измерениям диаметра D . При $d < 10$ мм контроль отверстий допускается производить предельными калибрами, размеры которых назначают исходя из допустимых предельных отклонений среднего диаметра отверстия $d_{ср}$ (см. главу первую, п. 5).

6. Ширина колец подшипников измеряется на приборах по схемам 5 и 6. При этом измерительный наконечник устанавливают на середине торца кольца и кольцо поворачивают вокруг оси на полный оборот. Ширину колец подшипников диаметром св. 300 мм допускается контролировать универсальными измерительными инструментами, измеряя в трех равнорасположенных по окружности сечениях.

7. Монтажную высоту T собранных радиально-упорных подшипников измеряют на приборах по схеме 7. Монтажную высоту крупногабаритных подшипников допускается измерять на приборах по схеме 8.

8. Биение наружной цилиндрической поверхности наружных колец и отверстий внутренних колец подшипников относительно торца измеряется на приборах по схемам 9 и 10. Измерительный наконечник и упор находятся на одной образующей в крайних сечениях кольца. Проверяемое кольцо поворачивают вокруг оси на полный оборот.

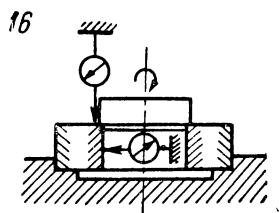
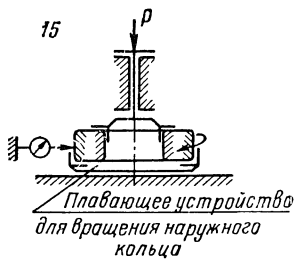
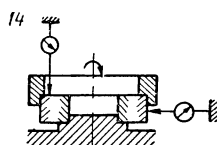
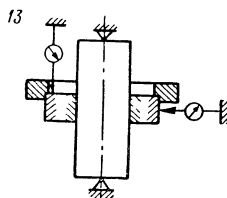
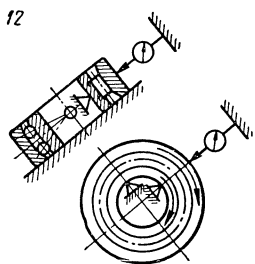
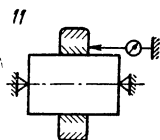
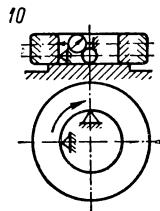
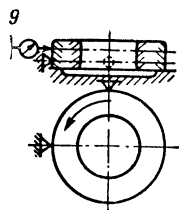
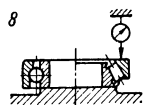
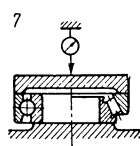
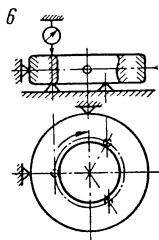
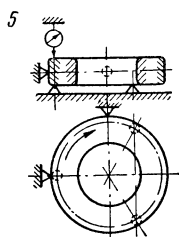
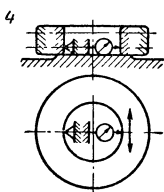
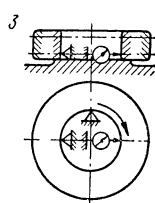
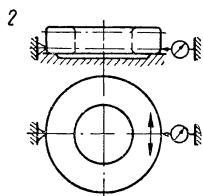
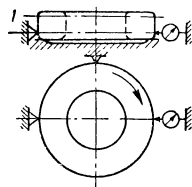
Биение отверстия относительно торца не должно превышать $\frac{4S_i h}{d + d'}$, где S_i — предел биения торца относительно отверстия в мм (см. табл. 1.21 и 1.23), h — расстояние между точками касания измерительного наконечника и упора с кольцом в мм, d — номинальный диаметр отверстия кольца в мм, d' — номинальный диаметр борта кольца в мм.

Контроль биения отверстия относительно базового торца равнозначен контролю биения базового торца относительно отверстия (схема 11, рис. 2.8).

9. Радиальное биение наружных и внутренних колец собранных подшипников (кроме сферических подшипников и радиальных роликовых подшипников, контроль которых осуществляется по схеме 12) измеряется на приборах по одной из схем 13, 14, 15 (для наружных колец) и 13, 16, 17 (для внутренних колец). Радиальное биение равно наибольшему отклонению при повороте кольца на три оборота.

10. Осевое биение наружных и внутренних колец собранных подшипников измеряется на приборах по схемам 13, 14 (для наружных колец) и 16 (для внутренних колец). Измерительный наконечник устанавливают на середине торца кольца и осевое биение принимают равным наибольшему отклонению при повороте кольца вокруг оси на три оборота.

11. При измерении радиального биения дорожки качения отдельных колец шариковых (схемы 18 и 20 рис. 2.8) и роликовых подшипников (схемы 19 и 20) кольцо поворачивают вокруг оси на полный оборот. При этом упор и измерительный наконечник (схема 18) установлены в радиальной плоскости, проходящей через центр кривизны профиля до-



рожки качения. По схеме 19 измерительный наконечник устанавливают в крайнем сечении дорожки качения роликового подшипника; сечение отстоит от борта или края рабочей зоны дорожки качения на расстоянии, равном удвоенному номинальному размеру галтели (номинальному значению координаты фаски) кольца.

12. Осевое биение дорожки качения относительно базового торца отдельных колец шариковых подшипников измеряется на приборах по схеме 21. Допускается проводить измерения по схеме 22 рис. 2.8 (измерительный наконечник установлен на середине базового торца и кольцо базируется по дорожке качения на трех опорах). Кольцо поворачивают вокруг оси не менее чем на полный оборот.

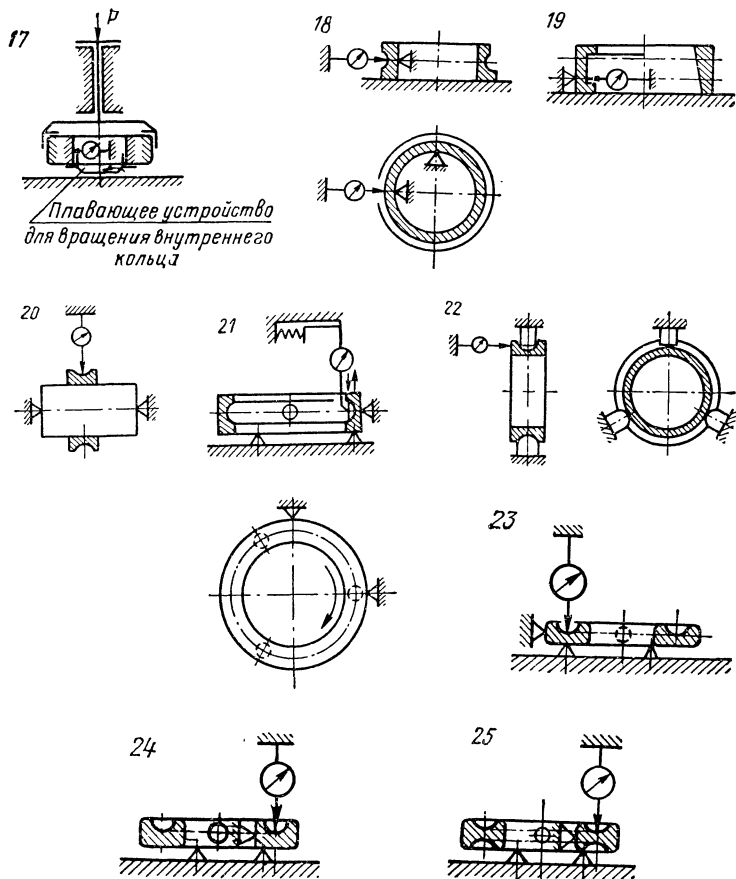


Рис. 2.8

13. Осевое биение дорожки качения колец упорных шариковых подшипников измеряется на приборах по схемам 23, 24 (для свободных и тугих колец) и 25 (для тугих двойных колец).

Средства контроля размеров подшипников, точности их вращения и других параметров (твердости, остаточной намагниченности, наличия трещин, ожогов) приведены в работах [1, 3].

4. КОНТРОЛЬ ШЛИЦЕВЫХ И ШПОНОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Калибры для отверстий и валов с прямобочным профилем шлицев (по ГОСТ 7951—59)

Отверстия и валы с прямобочным шлицевым профилем должны подвергаться двойному контролю: дифференцированному (поэлементному) и комплексному.

При дифференцированном контроле размеры d , D и b проверяются специальными по форме гладкими предельными калибрами-пробками для (D) отверстия и скобами для (d) вала, приведенными на рис. 2.9, и обычными гладкими предельными пробками и пластинами для (d и b) отверстия и скобами для (D и b) вала, типы которых приведены на рис. 2.1 и 2.2.

Исполнительные размеры этих калибров рассчитываются относительно предельных размеров d , D и b отверстий и валов, определяемых

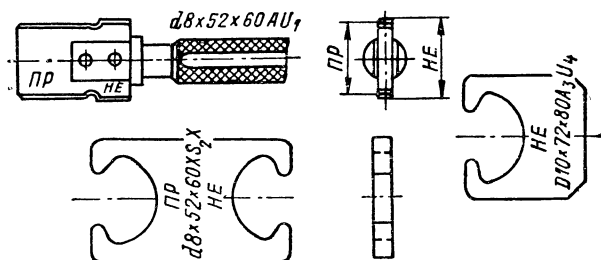


Рис. 2.9

их номиналами и отклонениями по ГОСТ 1139—58 (см. табл. 1.35—1.38), в соответствии с выбранным способом центрирования и характером соединения с учетом отклонений для самих калибров. При этом согласно ГОСТ 7951—59 отклонения гладких предельных калибров для проверки d валов и D отверстий устанавливаются по соответствующим стандартам допусков на гладкие калибры (ОСТ 1203, 1204, 1205, 1219 и 1220); отклонения для валов l_{2a} — по ОСТ 1205, как для валов X_3 и $Ш_3$; отклонения непроходных калибров для проверки нецентрирующего диаметра вала — по ОСТ НКМ 1221; отклонения предельных калибров для проверки размера b отверстий U_1 и U_3 и валов S_1 устанавливаются в зависимости от номинальной величины этого размера по ОСТ 1205, как для отверстий и валов A_3 и B_3 , а для размера b отверстий U_2 и U_4 и валов S_2 и S_3 , как для отверстий и валов X_3 и $Ш_3$.

При комплексном контроле проверяются погрешности формы и взаимного расположения элементов шлицевого профиля отверстий и валов, оказывающие большое влияние на условия их сборки.

Этот контроль осуществляется с помощью специальных комплексных шлицевых калибров-пробок (рис. 2.10, а, б) и колец (рис. 2.10, в), которые применяются как проходные калибры. При этом калибры-пробки с одним направляющим пояском (рис. 2.10, а) рекомендуются

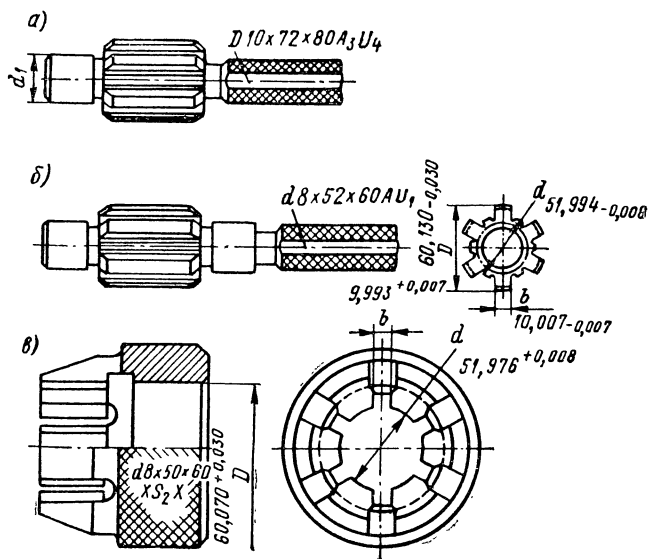


Рис. 2.10

для контроля отверстий, центрируемых по размерам D или b , а с двумя поясками (рис. 2.10, б) — для отверстий, центрируемых по размеру d .

По ГОСТ 7951—59 этот контроль распространяется на шлицевые валы и отверстия (по ГОСТ 1139—58) с номинальными внутренними диаметрами d до 120 мм.

Исполнительные размеры комплексных калибров рассчитываются относительно предельных размеров d , D и b шлицевых отверстий и валов, определяемых их номиналами и суммарными отклонениями по ГОСТ 1139—58 (см. табл. 1.35—1.38) в соответствии с выбранным способом центрирования и характером соединения, а также с учетом отклонений для этих калибров, приведенных в табл. 2.16 (для пробок) и табл. 2.17 (для колец).

На рис. 2.11 в дополнение приводится схема расположения полей допусков гладких и комплексных калибров относительно границ полей допусков прямобоочных шлицевых отверстий и валов по размерам d , D и b (по ГОСТ 7951—59).

ТАБЛИЦА 2.16

Предельные отклонения размеров, формы и положения элементов
шлицевых комплексных калибров пробок
(по ГОСТ 7951—59)

Номиналь- ный диаметр d или D в мм		Центрирую- щий диаметр d или D	Нецентри- рующий диаметр D или d	Толщина зубьев b				Отклонения в мкм												Предельная накопленная погрешность окружного шага в мкм		Предельная погрешность на- правлений зубьев в мкм																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
				при центри- ровании по D		при центрировании по d		1-я степень точности		2-я степень точности		верхнее		нижнее		знано		верхнее						нижнее		знано																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
				1-я степень точности		2-я степень точности		верхнее		нижнее		знано		верхнее		нижнее		знано						верхнее		нижнее		знано																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
				1-я степень точности		2-я степень точности		верхнее		нижнее		знано		верхнее		нижнее		знано						верхнее		нижнее		знано																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
св	до	+	нижнее	знано	верхнее	нижнее	+	верхнее	нижнее	+	знано	верхнее	нижнее	+	знано	верхнее	нижнее	+	верхнее	нижнее	+	знано	1-я	2-я	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

П р и м е ч а н и я:

1. Отклонения для ширины зубьев b пробок нужно брать из той группы диаметров, в которую входит номинальный диаметр d шлицевого соединения независимо от способа центрирования.
2. Отклонения для d , D и b пробок отсчитываются от размеров наименьшего предельного контура отверстий определяемого предельными суммарными отклонениями для них по ГОСТ 1139—58 (см. табл. 1.35—1.38).
3. Отклонения 2-й степени точности предназначены для пробок, контролируемых отверстия с попом допуска U_2 при центрировании по d .
4. Смещение зубьев относительно осевого сечения, параллельного их боковым сторонам, включается в предельную накопленную погрешность окружного шага.

ТАБЛИЦА 2.17

Предельные отклонения размеров, формы и положения элементов шлицевых комплексов калибров колец (по ГОСТ 7951—59)

Номинальный диаметр d или D в мм		Центрирующий диаметр d или D				Нецентрирующий диаметр d или D		Ширина впадин b				Предельная накопленная погрешность окружного шага в мкм		Пределная погрешность на правление впадин в мкм													
		1-я степень точности		2-я степень точности		диаметр D или d		1-я степень точности		2-я степень точности		Степени точности															
		верхнее	нижнее	верхнее	нижнее	+ износо	- нижнее	+ износо	- нижнее	+ износо																	
св	до	верхнее	нижнее	верхнее	нижнее	+ износо	- нижнее	верхнее	нижнее	+ износо	- нижнее	1-я	2-я	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
—	18	0	5	8	9	0	0	0	18	0	5	8	0	0	8	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
18	30	0	6	9	11	0	0	0	21	0	6	9	0	0	9	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	
30	50	0	7	10	13	0	0	0	25	0	7	10	0	0	10	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	
50	80	0	8	11	15	0	0	0	30	0	8	11	0	0	11	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	
80	120	0	9	13	18	0	0	0	35	0	9	12	0	0	12	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	
120	180	0	11	15	21	0	0	0	40	0	11	14	0	0	14	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	
																										11	
																										12	
																										13	
																										14	
																										15	
																										16	
																										17	
																										18	

Примечания

- Отклонения для d , D и b колец отсчитываются от размеров наибольшего предельного контура валов, определяемого предельными суммарными отклонениями для них по ГОСТ 1139—58 (см. табл. 1.35—1.38).
- Отклонения 2-й степени точности по размерам d или D предназначены для колец, контролируемых валы J_2 за при центрировании по d и валы J_1 , J_2 и J_3 при центрировании по D , а по размеру b и окружному шагу для колец, контролируемых валы S_2 , J_2 при центрировании по d и валы S_2 , J_2 и S_3 , J_2 при центрировании по D .
- Смещение впадин относительно осевого сечения, параллельного их боковым сторонам, включается в предельную накопленную погрешность окружного шага.

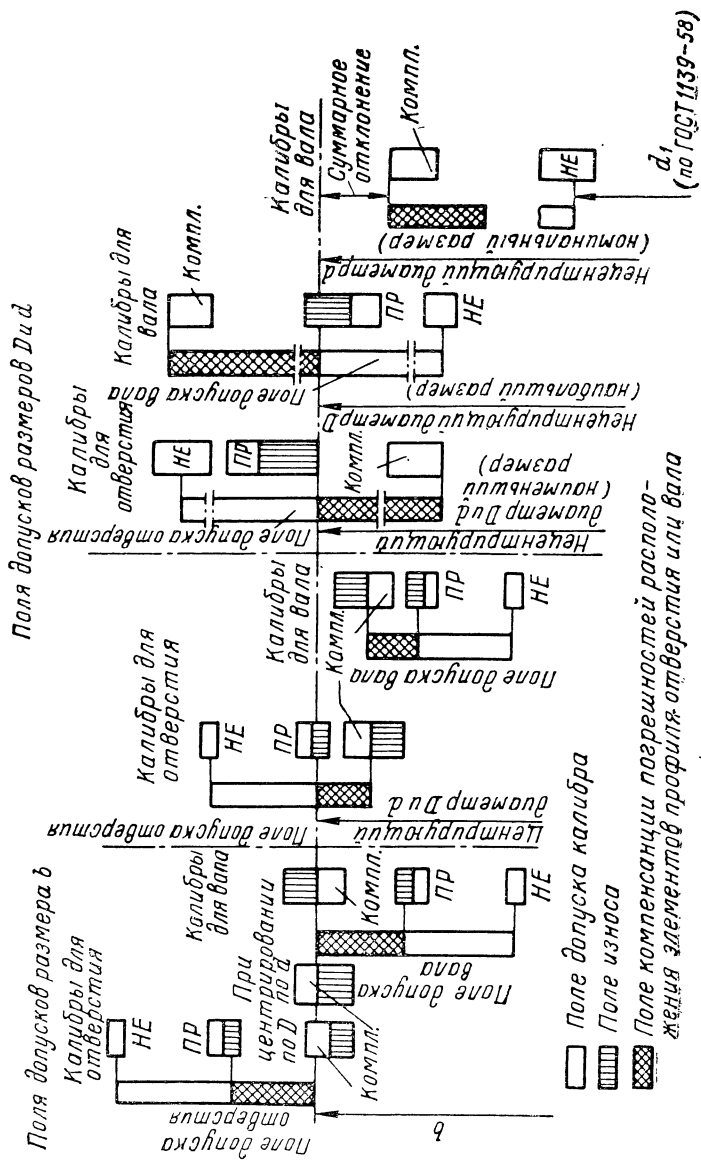


Рис. 2.11

Пример расчета предельных отклонений и исполнительных размеров комплексного калибра пробки и кольца для соединения $d8 \times 52 \times 60$

$$\times 60 \frac{A}{X} \cdot \frac{U_1}{S_2 X} :$$

Суммарные отклонения в мкм деталей (см. табл. 1.35—1.38) по размерам			Отклонения калибров по размерам									Предельная накопленная погрешность окружного шага	Предельная погрешность направления зубьев и впадин
			<i>d</i>			<i>b</i>			<i>D</i>				
			верхнее	нижнее	износ	верхнее	нижнее	износ	верхнее	нижнее			
<i>d</i>	<i>b</i>	<i>D</i>											
отверстия			Для пробки (см. табл. 2.16) в мкм									не более, в мкм	
<i>A</i>	<i>U₁</i>	<i>X₈</i>											
−14	0	+100	+8	0	−10	+7	0	−10	+30	0	11	7	
вала													
<i>X</i>	<i>S₂X</i>	<i>X₄</i>	Для кольца (см. табл. 2.17) в мкм									не более, в мкм	
−16	0	+100	0	−8	+10	0	−7	+10	0	−30	11	7	

Пользуясь приведенными данными, получим следующие размеры и допуски калибров в мм:

Номинальные размеры (см. табл. 1.34) в мм		Пробка $d8 \times 52 \times 60 A \cdot U_1$	
		новая	изношенная
<i>d</i>	52	$(52 - 0,014) + 0,008 = 51,994 - 0,008$	$(52 - 0,014) - 0,010 = 51,976$
<i>b</i>	10	$10 + 0,007 = 10,007 - 0,007$	$10 - 0,010 = 9,990$
<i>D</i>	60	$(60 + 0,100) + 0,030 = 60,130 - 0,030$	Износ не нормируется

Продолжение

Номинальные размеры (см. табл. 1.34) в мм		Кольцо $d8 \times 52 \times 60$ XS_2X	
		новое	изношенное
d	52	$(52 - 0,016) - 0,008 = 51,976 + 0,008$	$(52 - 0,016) + 0,010 = 51,994$
b	10	$10 - 0,007 = 9,993 + 0,007$	$10 + 0,010 = 10,010$
D	60	$(60 + 0,100) - 0,030 = 60,070 + 0,030$	Износ не нормируется

Комплексные и гладкие калибры для шлицевых деталей должны маркироваться (клеиться), как показано на рис. 2.9 и 2.10.

Калибры для отверстий и валов с эвольвентным профилем шлицев

По ГОСТ 6528—53 контроль толщины зубьев вала и ширины впадин втулок S с помощью комплексных калибров распространяется на изделия диаметром D до 150 мм и модулем m до 5 мм, а с помощью роликов — на весь диапазон размеров, предусмотренных ГОСТ 6033—51 (табл. 1.39).

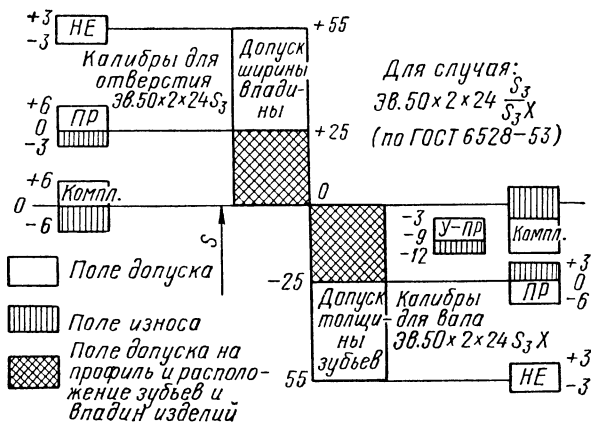


Рис. 2.12

При этом суммарные отклонения размеров S , т. е. действительные их отклонения, погрешности профиля и отклонения в окружном и осевом расположении зубьев и впадин должны проверяться комплексными про-

ходными калибрами-пробками и кольцами, а толщина отдельных зубьев вала и ширина отдельных впадин втулок — с помощью роликов в сочетании с универсальными средствами измерения (микрометрами, рычажными скобами и др.).

Допускается также проверять толщину зубьев и ширину впадин предельными калибрами (ПР и НЕ), а также другими средствами измерения при условии обеспечения той же точности, что и при проверке комплексными калибрами и измерительными роликами. Расположение полей допусков комплексных и предельных калибров относительно допусков изделий, предусмотренное ГОСТ 6528—53, приведено на рис. 2.12.

ТАБЛИЦА 2.18

Отклонения толщины зубьев, погрешностей профиля, накопленных погрешностей окружного шага и направления зубьев эвольвентных шлицевых калибров-пробок (по ГОСТ 6528—53)

Группы моделей в мм	Классы точности шлицевых отверстий									
	3					3а и 4				
	Предельные отклонения калибров в мкм									
	толщины зубьев		погрешность профиля	накопленная погрешность окружного шага	погрешность направления зубьев	толщины зубьев		погрешность профиля	накопленная погрешность окружного шага	погрешность направления зубьев
	новых	изношенных				новых	изношенных			
	ВО _н	НО _н				ВО _н	НО _н			
1—1,5	+5	—5	4	4	4	+7	—6	6	7	6
2—3,5	+6	—6	5	6	5	+8	—7	7	8	7
5	+7	—7	6	8	6	+9	—8	8	9	8

Комплексные калибры-пробки. Номинальная толщина зубьев S этих калибров определяется предельным отклонением K ширины впадин шлицевого отверстия (табл. 1.40), а отклонения их от номинала — данными, приведенными в табл. 2.18, составленной на основе ГОСТ 6528—53.

Контроль толщины зубьев S пробок должен производиться с помощью роликов, размеры которых d_{pB} , а также номинальные значения расчетного номера M_B (рис. 2.13, а) и коэффициента B берутся из табл. 2.19 в зависимости от номинальных размеров D и t шлицевого отверстия.

Предельные значения размера M_B пробок (рис. 2.13, а) новых ($M_{B \text{ наиб}}$ и $M_{B \text{ наим}}$) и изношенных ($M_{B \text{ изн}}$) определяются в зависимости от его расчетного значения ($M_{B \text{ расч}}$), величины коэффициента B (по

табл. 2.19), а также величин отклонений новых (BO_H) и изношенных (HO_H) пробок (по табл. 2.18) по формулам:

$$M_{B \text{ наиб}} = M_{B \text{ расч}} + BO_H \times B;$$

$$M_{B \text{ наим}} = M_{B \text{ расч}}, \text{ так как } HO_H = 0 \text{ (рис. 2.12);}$$

$$M_{B \text{ изн}} = M_{B \text{ расч}} + HO_H \times B.$$

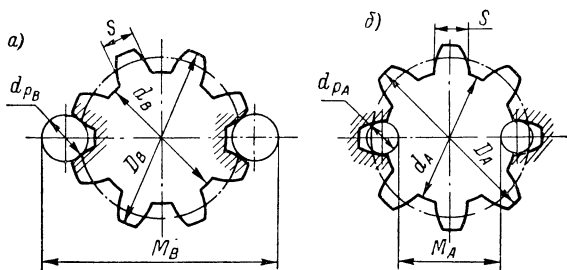


Рис. 2.13

Размеры рекомендуется определять с точностью до третьего десятичного знака.

Пример 7. Расчет предельных значений M_B калибра-пробки для отверстия $Эв 50 \times 2 \times 24 S_3$ при контроле толщины ее зубьев с помощью роликов (см. рис. 2.12 и табл. 2.18 и 2.19):

$$BO_H = 0,006 \text{ мм}; \quad HO_H = -0,006 \text{ мм};$$

$$d_{pB} = 4,4 \text{ мм}; \quad M_{B \text{ расч}} = 55,493 \text{ мм}; \quad B = 1,49,$$

откуда $M_{B \text{ наиб}} = 55,493 + 0,006 \times 1,49 = 55,502 \text{ мм}; \quad M_{B \text{ наим}} = 55,493 \text{ мм}; \quad M_{B \text{ изн}} = 55,493 - 0,006 \times 1,49 = 55,484 \text{ мм}.$

Диаметр окружности выступов должен быть равен номиналу соединения D с отклонениями по C (ОСТ 1012) у пробки, контролирующей отверстия, центрируемые по S (рис. 1.9, а), и с отклонениями по D_1 (ОСТ 1011) у пробки для отверстий, центрируемых по D (рис. 1.9, б), причем в последнем случае по вершинам зубьев пробки должны быть сняты фаски высотой 0,1 модуля.

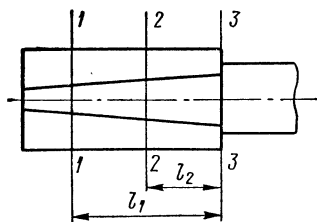


Рис. 2.14

Комплексные калибры-кольца. Они должны припасовываться к контркалибрам-пробкам У-ПР, имеющим клиновидную форму зубьев, схематически показанную на рис. 2.14. Толщина зубьев таких пробки должна умень-

шаться от заднего торца к переднему на величину $(0,35 \div 0,4) 10^{-3} l$, где l — длина зубьев в мм.

При припасовке кольца к пробке У-ПР расстояние между торцом кольца (сечение 1—1; 2—2) и задним торцом пробки (сечение 3—3) должно быть в пределах между l_1 и l_2 ; последний размер определяет наи-

ТАБЛИЦА 2.19

Величины диаметров роликов, расчетных размеров и коэффициентов, используемых при контроле с помощью роликов: толщины зубьев и ширины впадин эвольвентных шлицевых комплексных калибров пробков и колец, эвольвентных шлицевых валов и отверстий
(по ГОСТ 6528—53)

Размеры в мм

Модуль m	Номинальный диаметр соединения D	При контроле размеров валов и калибров-пробок			При контроле размеров отверстий		
		диаметры роликов d_{PB}	расчетные наружные размеры M_B	коэффициент B	диаметры роликов d_{PA}	расчетные внутренние размеры M_A	коэффициент A
1	12	2,020	14,061	1,378	1,732	8,298	2,515
	13	2,020	15,194	1,409	1,732	9,418	2,390
	15	2,020	17,209	1,435	1,732	11,441	2,215
	17	2,020	19,221	1,462	1,732	13,455	2,115
	20	2,311	22,801	1,334	2,020	15,651	1,839
	22	2,311	24,828	1,355	2,020	17,653	1,826
	25	2,020	27,253	1,527	1,732	21,484	1,944
	28	2,311	30,890	1,406	2,020	23,655	1,802
	30	2,311	32,906	1,420	2,020	25,655	1,797
	32	2,311	34,920	1,433	2,020	27,655	1,792
	35	2,020	37,275	1,575	1,833	31,176	1,916
	38	2,020	40,167	1,503	2,020	33,657	1,781
	40	2,020	42,174	1,511	2,020	35,657	1,779
1,5	20	3,666	24,798	1,283	2,886	13,732	2,499
	22	3,287	26,082	1,436	2,595	16,453	2,913
	25	3,287	29,100	1,460	2,595	19,532	2,525
	28	3,287	32,115	1,481	2,595	22,580	2,337
	30	3,666	34,707	1,317	2,886	23,921	1,771
	32	3,580	36,742	1,394	2,886	25,883	2,032
	35	3,468	39,473	1,424	2,886	28,844	1,993
	38	3,310	42,072	1,457	2,886	31,852	1,964
	40	3,287	44,157	1,538	2,595	34,668	2,050
	42	3,580	46,631	1,397	2,886	35,922	1,758
	45	3,580	49,658	1,411	2,886	38,922	1,757
	50	3,310	54,126	1,506	2,886	43,873	1,891
	55	3,106	58,672	1,603	2,595	49,711	1,934
	60	3,468	64,455	1,475	2,886	53,939	1,750

Продолжение табл. 2.19

Модуль m	Номинальный диаметр соединения D	При контроле размеров валов и калибров-пробок			При контроле размеров отверстий		
		диаметры роликов d_{PB}	расчетные наружные размеры M_B	коэффициент B	диаметры роликов d_{PA}	расчетные внутренние размеры M_A	коэффициент A
2	28	4,773	33,753	1,243	4,091	19,128	1,943
	30	4,400	35,366	1,392	3,468	22,868	2,220
	32	4,773	37,844	1,274	4,091	23,134	1,905
	35	4,400	40,204	1,368	4,091	25,965	2,237
	38	4,400	43,429	1,440	3,468	30,918	2,053
	40	4,400	45,036	1,350	4,091	31,143	1,859
	42	4,400	47,454	1,458	3,580	34,558	2,070
	45	4,400	50,607	1,531	3,580	37,314	2,386
	50	4,400	55,493	1,490	3,580	42,588	1,991
	55	4,400	60,363	1,459	4,091	46,063	1,967
	60	4,400	65,224	1,435	4,091	51,153	1,808
	65	4,211	70,112	1,601	3,580	57,477	2,064
	70	4,211	75,030	1,559	3,666	62,351	1,916
	75	4,400	80,451	1,513	4,091	66,096	1,886
	80	4,400	85,331	1,488	4,091	71,157	1,787

Примечания:
 1. Аналогичные данные для m : 2,5; 3,5; 7 и 10 мм, см. ГОСТ 6528—53.
 2. Предельные отклонения для диаметров роликов ± 1 мкм

ТАБЛИЦА 2.20

Предельные отклонения толщины зубьев пробок У-ПР
и расстояния до контрольных сечений
(по ГОСТ 6528—53)

Группы модулей	Отклонения толщины зубьев пробок У-ПР в сечении 2—2 в мкм			Расстояния до контрольных сечений в мм	
	Новые калибры		Изношенные калибры	l_1	l_2
	верхнее	нижнее			
1—1,5	—3	—8	—11	27	15
2—3,5	—3	—9	—12	30	15
5	—4	—11	—14	37	20

меньший запас износа кольца. Размеры l_1 и l_2 обеспечиваются установкой на приборе или отмечаются рисками.

Номинальный размер толщины зубьев пробки У-ПР на расстоянии l_2 определяется по предельным отклонениям K толщины зубьев вала, проверяемого данным кольцом (табл. 1.40), а отклонения их должны быть в пределах, указанных в табл. 2.20.

Контроль толщины зубьев пробки У-ПР должен производиться с помощью роликов по схеме, показанной на рис. 2.13. При этом размер по роликам M_K определяется по формуле

$$M_K = M_B + \delta S_B \times B,$$

где M_B — размер по роликам; B — коэффициент при номинальных размерах вала (D и m) и диаметре роликов d_{PB} по табл. 2.19; δS_B — суммарное отклонение K от толщины зубьев вала по табл. 1.40 с учетом отклонений пробки У-ПР по табл. 2.20.

Пример 8. Расчет предельных значений размера по роликам M_K пробки У-ПР к калибру-кольцу, предназначенному для контроля вала Эв $50 \times 2 \times 24 S_3C$.

По табл. 2.19: $d_{PB} = 4,4$ мм; $M_B = 55,493$ мм; $B = 1,49$.

По табл. 2.20 отклонения пробки У-ПР в сечении 2—2 (рис. 2.14) равны: $(-0,003)$; $(-0,009)$ и $(-0,12)$ мм, а по табл. 1.40 отклонения K у заданного вала $+0,025$ мм, откуда размеры пробки У-ПР по роликам будут равны:

новой пробки

$$M_{K \text{ наиб}} = 55,493 + (0,025 - 0,003) \times 1,49 = 55,526 \text{ мм};$$

$$M_{K \text{ наим}} = 55,493 + (0,025 - 0,009) \times 1,49 = 55,517 \text{ мм};$$

изношенной пробки

$$M_{K \text{ изн}} = 55,493 + (0,025 - 0,012) \times 1,49 = 55,512 \text{ мм}.$$

Диаметр окружности выступов пробки У-ПР должен быть равен наибольшему предельному диаметру соответствующего шлицевого вала с отклонениями по С (ОСТ 1012), а внутренний диаметр калибра кольца должен быть равен внутреннему диаметру шлицевого отверстия по ГОСТ 6033—51 с отклонениями по А (ОСТ 1012).

Непосредственный контроль толщины зубьев и ширины впадин эвольвентных шлицевых валов и отверстий любых D и m по ГОСТ 6033—51 с помощью роликов производится аналогично контролю калибров, с учетом отклонений ПР и НЕ для них по табл. 1.40 и величин расчетных размеров M_B и M_A , коэффициентов B и A и диаметров роликов d_{PB} и d_{PA} по табл. 2.19. При этом контролируемые валы и отверстия считаются годными, если полученные при измерении фактические величины размеров M_B и M_A (рис. 2.13, а, б) будут находиться в пределах вычисленных предельных значений.

Пример 9. Расчет предельных значений M_B при контроле толщины зубьев шлицевого вала Эв $80 \times 2 \times 38 S_4III$ с помощью роликов.

Согласно табл. 2.19 контроль этого вала должен осуществляться с помощью роликов $d_{PB} = 4,4$ мм; $M_{B \text{ расч}} = 85,331$ мм; $B = 1,488$.

Согласно табл. 1.40 отклонения вала ПР = $-0,070$ мм, а НЕ = $-0,150$ мм, откуда

$$M_{B \text{ наиб}} = 85,331 - 0,070 \times 1,488 = 85,227 \text{ мм};$$

$$M_{B \text{ наим}} = 85,331 - 0,150 \times 1,488 = 85,108 \text{ мм}.$$

Пример 10. Расчет предельных значений размера M_A при контроле ширины впадин шлицевого отверстия Эв $80 \times 2 \times 38 S_4$ с помощью роликов.

Согласно табл. 2.19 контроль этого отверстия должен производиться с помощью роликов $d_{pA} = 4,091$ мм; $M_{A \text{ расч}} = 71,157$ мм; $A = 1,787$.

Согласно табл. 1.40 отклонения отверстия $PR = +0,045$ мм, а $HE = +0,125$ мм, откуда

$$M_{A \text{ наим}} = 71,157 + 0,045 \times 1,787 = 71,238 \text{ мм};$$

$$M_{A \text{ наиб}} = 71,157 + 0,125 \times 1,787 = 71,381 \text{ мм}.$$

Калибры предельные для контроля толщины зубьев и ширины впадин

Отклонения рабочих размеров проходных (ПР) и непроходных (НЕ) калибров для контроля размеров валов и отверстий, применяемых вместо контроля с помощью роликов, должны быть в пределах, соответствующих предельным отклонениям толщины зубьев валов и ширины впадин (S) отверстий, приведенным в табл. 2.21 (см. рис. 2.12).

ТАБЛИЦА 2.21

Предельные отклонения калибров ПР и НЕ в мкм
для контроля размеров S эвольвентных шлицевых валов и отверстий
(по ГОСТ 6528—53)

Группы модулей в мм по классам точности			Калибры ПР				Калибры НЕ
			для валов		для отверстий		
3	3a	4	новые	изношен- ные	новые	изношен- ные	
1—1,5	—	—	—5	+3	+5	—3	±3
2—3,5	—	—	—6	+3	+6	—3	±3
5	1—1,5	—	—8	+4	+8	—4	±4
—	2—3,5	—	—10	+5	+10	—5	±5
—	5	1—1,5	—12	+6	+12	—6	±6
—	—	2—3,5	—14	+7	+15	—7	±7
—	—	5	—18	+9	+18	—9	±9

Наружный и внутренний диаметры эвольвентных шлицевых валов и отверстий проверяются предельными калибрами, допуски которых устанавливаются по ОСТ 1203, ОСТ 1205, ОСТ 1207—ОСТ 1209, ОСТ 1213—ОСТ 1216, ОСТ 1219—ОСТ 1221 для гладких валов и отверстий в соответствии с номинальными размерами и допусками проверяемых диаметров.

Калибры для шпоночных соединений

У шпоночных соединений калибрами следует проверять размеры, показанные на рис. 1.11.

Типы калибров, применяемых в этом случае, приведены на рис. 2.15, где показаны: пластина для контроля ширины пазов b со сторонами ПР и НЕ (рис. 2.15, а); пробка со ступенчатой шпонкой (ПР и НЕ) для контроля размера t_1 отверстия (рис. 2.15, б); кольцевой калибр со стержнем, имеющим риски, соответствующие сторонам ПР и НЕ размера t вала (рис. 2.15, в); пробка со шпонкой для контроля асимметрии паза e_1 в от-

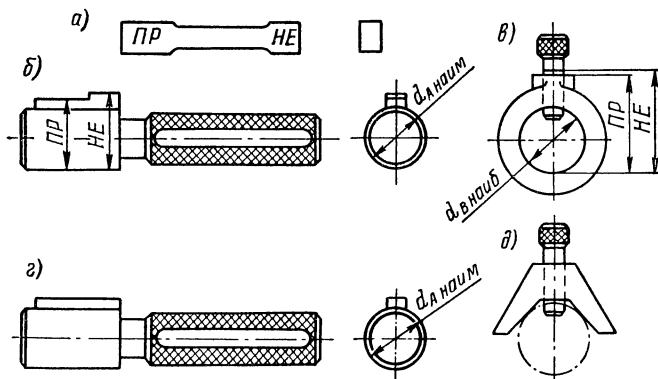


Рис. 2.15

верстии (рис. 2.15, г); накладная призма со стержнем для контроля асимметрии паза e_2 на валу (рис. 2.15, д).

Измерение несимметричности шпоночных пазов см. в главе десятой.

Расчет калибров для размеров b , t и t_1 аналогичен расчету гладких предельных калибров для отверстий и валов соответствующих номиналов, классов точности и посадок, а при расчете калибров для контроля асимметрии e_1 и e_2 надо руководствоваться указаниями, изложенными в главе второй, п. 7.

5. КОНТРОЛЬ ГЛАДКИХ КОНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Контроль гладких конических изделий с помощью калибров производится по осевому их перемещению относительно изделия и состоит в проверке пределов отклонений базорасстояния. При контроле торцы изделия должны находиться между рисками или торцами калибра, расположенными на расстоянии h друг от друга, равном допуску базорасстояния. Типы и конструкции применяемых калибров приведены на рис. 2.16. На рис. 2.16, а, б показан комплект калибров без лапок (тип I) и комплект калибров с лапками (тип II). Основные размеры и допуски этих калибров по ГОСТ 2849—69 приведены в табл. 2.22.

На рис. 2.16, в показана предельная скоба для контроля размеров меньшего основания конусных изделий, имеющая малую длину

Основные размеры и предельные отклонения
(по ГОСТ)

Обозначения конусов		Конусность					D	
		пробок			втулок		Номиналь- ный	
		степеней точности						
		3	4	5	4	5		
		Предельные отклонения в мкм						
		±	±	±	+	+		
Морзе	0	4	6	10	—	20	9,045	
	1	3	5	8	—	16	12,065	
	2				—		17,78	
	3				10		23,825	
	4	2,5	4	6	8	12	31,267	
	5	2	3	5	6	10	44,399	
	6						63,348	
Морзе укороченные	0a	6	10	16	—	—	7,067 *	
	1a				—	—	10,094 *	
	16	5	8	12	—	—	12,065 *	
	2a				—	—	15,733 *	
	26	4	6	10	—	—	17,78 *	
	3a				—	20	21,793	
	36	3	5	8	—	16	23,825	
	46				—		31,267	
	56				—		44,399	

ТАБЛИЦА 2.22

ния калибров для конусов инструментов
2849—69)

		<i>h</i>		$\frac{b}{2}$						
Предельное отклонение*	Номиналь-ный	Предельное отклонение	Номинальный		Предельное отклонение	<i>l</i>	<i>l</i> ₁	<i>l</i> ₃	<i>l</i> ₇	
			проб-ки	втул-ки						
в мм										
	+		±			±				
	0,006	1,1	0,1	2,03	2	0,012	51	50	56,5	50
0,008		1,4	0,15	2,68	2,65		54,5	53,5	62	53,5
		1,4		3,23	3,2	0,015	65	64	75	65
0,009	1,7	4,03		4	82,1		81	94	81	
0,011	1,9	0,2	6,03	6	0,018	103,8	102,5	117,5	101,5	
	1,9		8,03	8		130,9	129,5	149,5	130,5	
0,013	2,3	0,25	9,58	9,55		183,5	182	210	183	
0,006	1,1 *	0,1	—	—	—	12	—	—	—	
0,008	1,4 *	0,15	—	—	—	15,5	—	—	—	
	1,4 *		—	—	—	19,5	—	—	—	
	1,4 *		—	—	—	25	—	—	—	
	1,4 *		—	—	—	33	—	—	—	
0,009	1,7		—	—	—	41,6	40,5	—	—	
	1,7		—	—	—	51,6	50,5	—	—	
0,011	1,9	0,2	—	—	—	52,3	51	—	—	
	1,9		—	—	—	65,9	64,5	—	—	

Обозначения конусов	Конусность					D		
	пробок			штулок		Номиналь- ный		
	степеней точности							
	3	4	5	4	5			
	Предельные отклонения в мкм							
	±	±	±	+	+			
Метрические	4	5	8	12	—	—	4 *	
	6	4	6	10	—	—	6 *	
	80	2	3	5	6	10	80	
	100	1,6	2,5	4	5	8	100	
	120						120	
	160						160	
	200	1,2	2,0	3	4	6	200	

П р и м е ч а н и я.

1. Размеры и отклонения, обозначенные *, только для калибров-пробок.

2. Предельные отклонения размеров: l по B_5 (ОСТ 1025), l_1 , l_3 и l_7 по

3. Размер D — диаметр по переднему, т. е. обращенному к малому диаметру

II размеры h и l_2 — от торцов втулки до переднего края рисок.

4. Предельные отклонения конусности даны на 100 мм длины.

5. Калибры втулки для 5-й степени точности пригодны для контроля точности.

6. Отклонения конусности не относятся к втулкам, изготовленным мето

7. Предельные отклонения конусности контркалибров-пробок не долж

8. Втулки припасовываются к парным с ними контрольным калибрам-
сов Морзе 0—6 4-й степени точности, 0—2 и 3а—5б 5-й степени точности,

3—5 5-й степени точности, метрических 120, 160 и 200 4-й степени точности и 120 5-й степени точности — 4 мкм: для метрических 160 и 200 5-й степе

9. При контроле втулки ее торец должен совпадать с передним краем более 0,1 мм. Втулки считаются предельно изношенными, если расстояние не достигает 0,2h.

10. Отклонения формы конических поверхностей пробок не должны превышать IV степени точности (некруглость) по ГОСТ 10356—63.

11. Из приведенных на рис. 2.16 размеров в таблицу включены только 5-го класса точности

Продолжение табл. 2.22

		<i>h</i>		$\frac{b}{2}$			<i>l</i>	<i>l</i> ₁	<i>l</i> ₃	<i>l</i> ₇
Предельное отклонение *	Номиналь-ный	Предельное отклонение	Номинальный		Предельное отклонение					
			проб-ки	втул-ки						
в мм										
+		±			±					
0,005	1 *	0,1	—	—	—	24	—	—	—	
	1 *		—	—	—	33	—	—	—	
0,013	2,4	0,25	13,08	13,05	0,021	198	196	220	196	
0,015	2,8	0,3	16,08	16,05		235	232	260	232	
	2,8		0,026	19,08	19,05	271	268	300	268	
0,018	3,2			25,08	25,05	344	340	380	340	
0,02	3,7	0,35	31,05	31,05	0,031	417	412	460	412	

B_{3a} (ОСТ НКМ 1027), остальных по $СМ_7$ (ОСТ 1010).

ру краю риски; размер h — между передними краями рисков; у втулок типа

базового расстояния и смещения лапки наружных конусов 3 и 4-й степеней дем припасовки.

ны превышать 50% предельных отклонений калибров-втулок.

пробкам по краске. Толщина слоя краски не должна превышать: для конусометрических 80 и 100 4-й степени точности — 2 мкм; для конусов Морзе ти — 3 мкм; для конусов Морзе 6 5-й степени точности, метрических 80, 100 ни точности — 5 мкм.

первой риски контрольного калибра; допускается недоход торца втулки не между торцом втулки и передним краем первой риски на контрольной проб-

шать II, III степени точности (непрямолинейность образующей конуса) и III,

те размеры калибров, по которым предусматриваются допуски не грубее

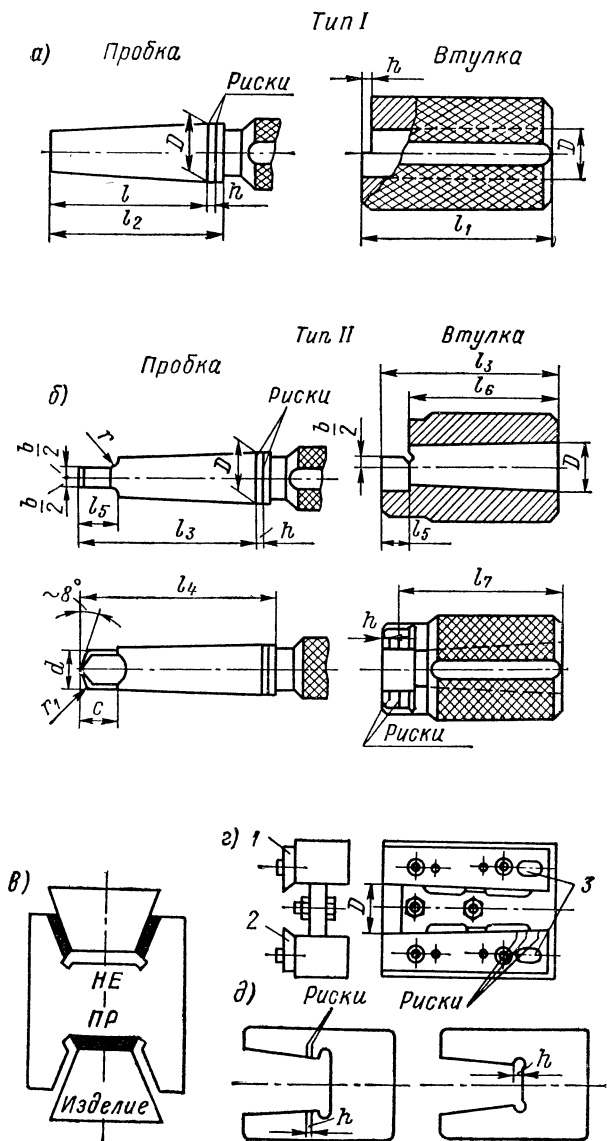


Рис. 2.16

измерительных поверхностей, с целью уменьшения влияния отклонений угла уклона на результаты контроля. На рис. 2.16, а показано приспособление, позволяющее проверять не только базорасстояние, но и конусность «на просвет» между образующими проверяемого изделия и ребрами линейек 1 и 2. Линейки устанавливаются на заданный угол с помощью конусных калибров повышенной точности. Бобышки 3 предназначены для контроля толщины лапок конусных хвостовиков. На рис. 2.16, б показаны конусные скобы с рисками и уступами с помощью которых также можно проверять базорасстояние и конусность «на просвет».

6. КОНТРОЛЬ РЕЗЬБЫ

Назначение, характеристика и конструкции калибров для контроля метрических резьб по ГОСТ 9253—59 приведены в табл. 2.23 и 2.24. Калибры для других резьб берутся согласно ГОСТ, указанным в соответствующей графе табл. 1.49.

Допуски калибров для метрической резьбы (по ГОСТ 18107—72)

ГОСТ 18107—72 предназначен заменить ГОСТ 1623—61 — в части метрических резьб ¹, ГОСТ 6725—53 и ГОСТ 10532—63. Он распространяется на калибры для проверки метрических резьб изделий 4—8-й степеней точности по ГОСТ 16093—70.

ГОСТ 18107—72 соответствует рекомендациям ИСО и СЭВ.

Стандартом предусматриваются предельные отклонения рабочих калибров, предназначенных для проверки размеров резьбы изделий заводом-изготовителем, и контрольные калибры (контрольные калибры), предназначенные для установки размеров рабочих калибров.

Стандартом не устанавливаются предельные отклонения приемных калибров.

Для проверки резьбы изделий проходными резьбовыми калибрами контролерами контрольных отделов предприятия-изготовителя и представителями заказчика рекомендуется пользоваться не новыми, а частично изношенными по среднему диаметру калибрами. Новые калибры должны выдаваться рабочим для контроля резьбы изделий в процессе их изготовления.

Для проверки резьбы изделий непроходными резьбовыми калибрами контролерами контрольных отделов предприятия-изготовителя и представителями заказчика рекомендуется пользоваться новыми по среднему диаметру калибрами.

Сомнения в отношении правильности размеров изделий должны разрешаться проверкой калибрами с размерами по среднему диаметру близкими к границе поля износа ПР и к границе поля допуска нового калибра НЕ (верхней — для гайки, нижней — для болта).

Устанавливаемые проектом ГОСТ контркалибры КПР-ПР, КПР-НЕ КНЕ-ПР, КНЕ-НЕ не входят в комплект эксплуатационных калибров и заказчику не поставляются; они применяются только изготовителем калибров при изготовлении колец.

ГОСТ 1623—61 [3] остается действующим только для калибров дюймовых резьб 2 и 3-го классов точности о ОСТ НКТП 1261 и ОСТ НКТП 1262. В связи с этим в ГОСТ 1623—61 вносятся соответствующие изменения.

ТАБЛИЦА 2.23
Назначение и характеристика калибров для метрических резьб
(по ГОСТ 18107—72)

Наименование	Обозначение	Профиль резьбы	Проверяемый элемент резьбы	Признак правильности проверяемых размеров
Рабочие калибры для гаек (внутренней резьбы)				
Проходной рабочий резьбовой калибр-пробка	ПР	Полный	Приведенный средний и наружный диаметры гайки	Свободное ввинчивание в гайку
Непроходной рабочий резьбовой калибр-пробка (см. примечание 1)	НЕ	Укороченный	Средний диаметр гайки	Не должен ввинчиваться в гайку (см. примечание 2)
Проходной рабочий гладкий калибр-пробка	ПР	—	Внутренний диаметр гайки	Проходит свободно
Непроходной рабочий гладкий калибр-пробка	НЕ	—	Внутренний диаметр гайки	Не проходит (см. примечание 3)
Рабочие калибры для болтов (наружной резьбы)				
Проходные рабочие резьбовые кольца (или скобы) (см. примечание 4)	ПР	Полный	Приведенный средний и внутренний диаметры болта	Кольцо должно свободно навинчиваться на болт. Резьбовая скоба проходит
Непроходные рабочие резьбовые скобы (или кольца) (см. примечание 1)	НЕ	Укороченный	Средний диаметр болта	Резьбовая скоба не должна проходить. Резьбовое кольцо не должно навинчиваться на болт (см. примечание 5)

Продолжение табл. 2.23

Наименование	Обозначение	Профиль резьбы	Проверяемый элемент резьбы	Признак правильности проверяемых размеров
Проходной рабочий гладкий калибр скоба	ПР	—	Наружный диаметр болта	Скоба проходит свободно
Непроходной рабочий гладкий калибр скоба	НЕ	—	Наружный диаметр болта	Скоба не проходит (см. примечание 6)
Контрольные калибры				
Проходная резьбовая контрольная пробка для нового регулируемого проходного резьбового кольца. Служит также для установки регулируемой проходной рабочей резьбовой скобы (см. примечания и 8)	КПР-ПР	Полный	Средний и наружный диаметры	Свинчивается с проверяемым кольцом. В скобу проходит
Непроходная резьбовая контрольная пробка для нового регулируемого проходного резьбового кольца	КПР-НЕ	Укороченный	Средний диаметр	Не свинчивается с проверяемым кольцом (см. примечание 8)
Непроходная резьбовая пробка для контроля на износ регулируемых и регулируемых проходных резьбовых колец и скоб	К-И	Укороченный	Средний диаметр	Не свинчивается с проверяемым кольцом. Не проходит в скобу (см. примечание 8)

Продолжение табл. 2.8

Наименование	Обозначение	Профиль резьбы	Проверяемый элемент резьбы	Признак правильности проверяемых размеров
Проходная резьбовая контрольная пробка для нового регулируемого непроходного резьбового кольца. Служит также для установки непроходной регулируемой рабочей резьбовой скобы (см. примечания 8 и 9)	КНЕ-ПР	Полный	Средний диаметр	Свинчивается с проверяемым кольцом. В скобу проходит
Непроходная резьбовая контрольная пробка для нового регулируемого непроходного резьбового кольца	КНЕ-НЕ	Полный	Средний диаметр	Не свинчивается с проверяемым кольцом (см. примечание 8)
Пробка для контроля износа регулируемых и регулируемых непроходных колец и скоб	КИ-НЕ	Полный	Средний диаметр	Несвинчиваемость с кольцами. В скобу не проходит (см. примечание 8)
Установочная пробка для регулируемого проходного резьбового кольца (см. примечания 7 и 8)	У-ПР	Полный	Средний диаметр	Свинчиваемость с кольцом

Продолжение табл. 2.23

Наименование	Обозначение	Профиль резьбы	Проверяемый элемент резьбы	Признак правильности проверяемых размеров
Установочная пробка для регулируемого непроходного резьбового кольца (см. примечания 8 и 9)	У-НЕ	Полный	Средний диаметр	Свинчиваемость с кольцом

П р и м е ч а н и я.

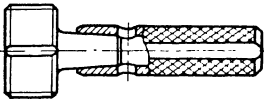
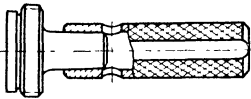
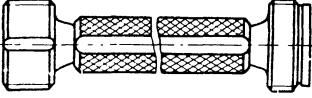
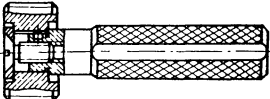
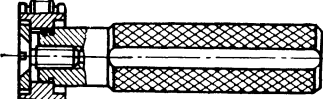
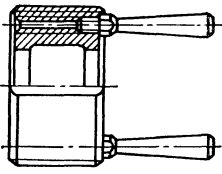
1. Вследствие возможных случаев неправильной оценки годности непроходными резьбовыми калибрами резьб с ма-лыми шагами рекомендуется применять вместо непроходных резьбовые пробки для резьб с допусками внутреннего диаметра по степеням точности 5, 6, 7, начиная с шага 0,4 мм, непроходные резьбовые кольца — для резьб с допусками наружного диаметра по степеням точности 4, 6, начиная с шага 0,4 мм, а для резьб по степени точности 8 — с шага 1 мм. Указанные резьбы рекомендуется проверять универсальными измерительными средствами
2. Допускается свинчивание пробки НЕ в гайку до двух оборотов (у сквозной резьбы с каждой стороны). При проверке коротких резьб (до 4 витков) допускается свинчивание пробки НЕ до двух оборотов с одной стороны или в сумме с двух сторон.
3. В крайнем случае допускается входение на 1 шаг.
4. При применении вместо проходных резьбовых колец проходных резьбовых регулируемых скоб следует ввести дополнительный выборочный контроль болтов резьбовым кольцом.
5. Допускается прохождение скобы НЕ по первым двум виткам. При применении вместо непроходных резьбовых скоб непроходных резьбовых колец допускается навинчивание кольца НЕ на болт до двух оборотов. При проверке коротких резьб (до трех витков) навинчивание кольца НЕ и прохождение скобы НЕ не допускается
6. В крайнем случае допускается прохождение через первый виток резьбы
7. В случае сомнения в характере установки проходных регулируемых скоб и колец производится дополнительная проверка вторым контроллибром КПр-НЕ. Контроллибр не должен проходить в скобу, не должен свинчиваться с кольцом.
8. Допустимо частичное свинчивание, но не более чем на один оборот с каждой стороны кольца.
9. В случае сомнения в характере установки непроходных регулируемых скоб и колец производится дополнительная проверка вторым контроллибром КНЕ-НЕ. Контроллибр не должен проходить в скобу, не должен свинчиваться с кольцом.

Конструкции резь

Вид калибра			Обозначение калибра	Профиль резьбы
Пробки резьбовые	со вставками	односторон- ние	ПР, У-ПР, КПР-ПР, У-НЕ, КНЕ-НЕ, КНЕ-ПР, КИ-НЕ	Полный
			НЕ, К-И, КПР-НЕ	Укороченный
		двусторонние	ПР и НЕ	ПР — полный НЕ — укороченный
	с насадками	односторон- ние	ПР, У-ПР, КПР-ПР, У-НЕ, КНЕ-НЕ, КНЕ-ПР, КИ-НЕ	Полный
			НЕ, К-И, КПР-НЕ	Укороченный
	с ручками, со стороны торца		ПР, У-ПР, КПР-ПР, У-НЕ, КНЕ-НЕ, КНЕ-ПР, КИ-НЕ	Полный

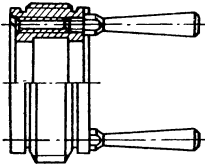
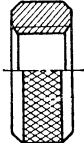
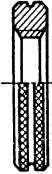
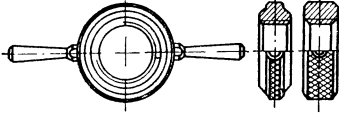
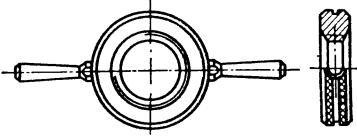
ТАБЛИЦА 2.24

бых калибров

Диаметр резьбы в мм	Номер ГОСТ	Эскиз
От 1 до 100	ГОСТ 17756—72	
	ГОСТ 17757—72	
От 2 до 50	ГОСТ 17758—72	
От 52 до 100	ГОСТ 17759—72	
	ГОСТ 17760—72	
От 105 до 300	ГОСТ 17761—72	

Вид калибра		Обозначение калибра	Профиль резьбы
Пробки резьбовые	с ручками, со стороны торца	НЕ, К-И, КПР-НЕ	Укороченный
Кольца резьбовые	нерегулируемые	ПР	Полный
		НЕ	Укороченный
		ПР	Полный
		НЕ	Укороченный

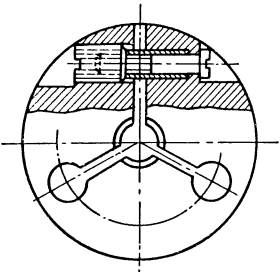
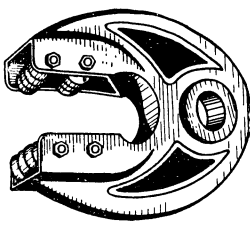
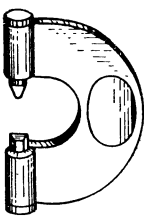
Продолжение табл. 2.24

Диаметр резьбы в мм	Номер ГОСТ	Эскиз
От 105 до 300	ГОСТ 17762—72	
От 1 до 100	ГОСТ 17763—72	
	ГОСТ 17764—72	
От 105 до 300	ГОСТ 17765—72	
	ГОСТ 17766—72	

Вид калибра		Обозначение калибра	Профиль резьбы
Кольца резьбовые	регулируемые	ПР, НЕ	ПР — полный НЕ — укорочен- ный
	роликовые регулируемые	ПР, НЕ	ПР — полный НЕ—укороченный
Скобы резьбовые	с конической и призматической вставками	НЕ	Укороченный

Примечание. Конструкции гладких калибров-пробок — для конт диаметра резьбы болтов см. стр. 280—282

Продолжение табл. 2.24

Диаметр резьбы в мм	Номер ГОСТ	Эскиз
—	—	
—	—	
—	—	

роля внутреннего диаметра резьбы гаек и скоб — для контроля наружного

Профиль резьбы калибров и длины резьбы. У калибров с полным профилем резьбы (рис. 2.17, а, б) боковые стороны профиля соответствуют боковым сторонам проверяемой резьбы.

Впадины резьбы калибров полного профиля должны быть выполнены с дугами окружностей радиусов r_1 и r_2 (рис. 2.18), сопрягающимися

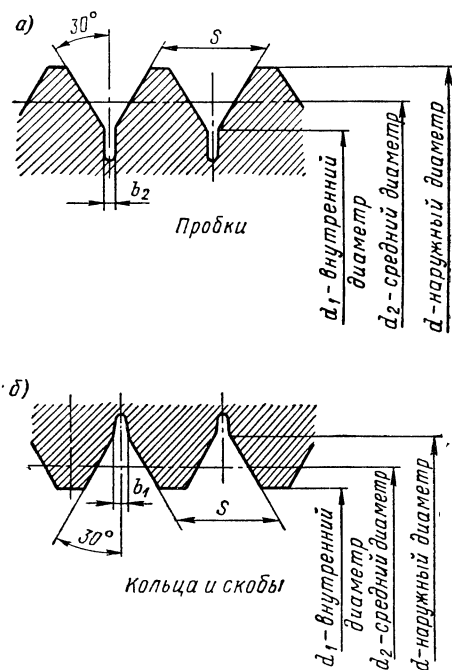


Рис. 2.17

по касательной с боковыми сторонами профиля, или с канавками b_1 и b_2 соответственно.

Наименьший диаметр по канавке (рис. 2.18, а)

$$d' = d + \frac{H}{12} = d + 0,072S.$$

Наибольший диаметр по канавке (рис. 2.18, б)

$$d'_1 = d_1 - \frac{H}{6} = d_1 - 0,144S.$$

Форма канавок произвольная. Размеры d' , b_1 , r_1 , d'_1 , b_2 , r_2 — исходные для проектирования инструментов. Значения r_1 , r_2 , b_1 , b_2 см. табл. 2.25.

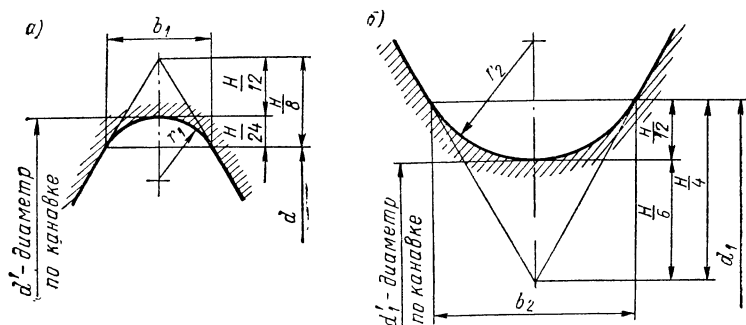


Рис. 2.18

ТАБЛИЦА 2.25

Значения радиусов впадин резьбы калибров
полного профиля и ширины канавок
(по ГОСТ 18107—72)

Шаг S	$b_1 = \frac{S}{8}$	$r_1 = 0,072$	$b_2 = \frac{S}{4}$	$r_2 = 0,144$
	не более			
0,2	—	0,014	—	0,029
0,25		0,018		0,036
0,3		0,022		0,043
0,35		0,025		0,050
0,4		0,029		0,058
0,45		0,032		0,065
0,5		0,036		0,072
0,6		0,045		0,086
0,7		0,050		0,10
0,75		0,054		0,11
0,8		0,058		0,11
1		0,072		0,14
1,25	0,15	0,09	0,31	0,18
1,5		0,11	0,37	0,21
1,75		0,13	0,44	0,25
2		0,14	0,5	0,29
2,5		0,18	0,61	0,36
3		0,22	0,75	0,43
3,5		0,25	0,88	0,50
4		0,29	1	0,58

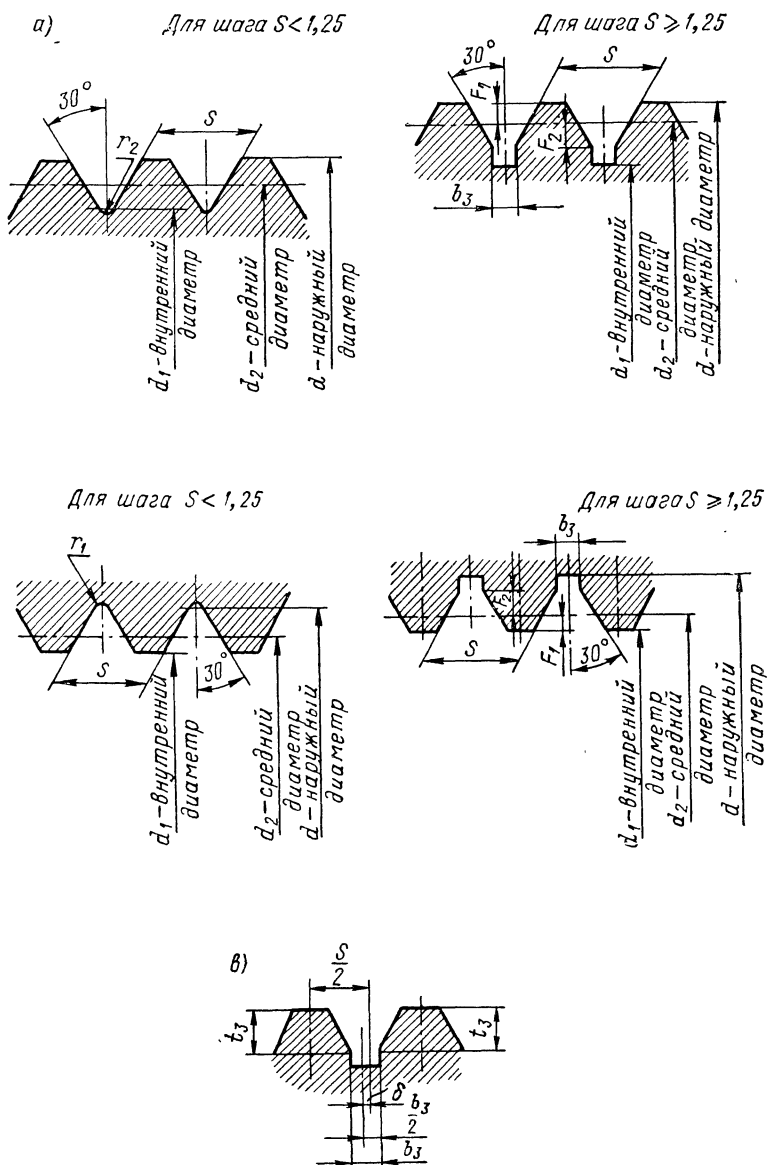


Рис. 2.19

У укороченного профиля резьбы калибров боковые стороны меньше боковых сторон проверяемой резьбы.

Укороченный профиль резьбы калибров-пробок (рис. 2.19, а) получается уменьшением наружного диаметра и прорезанием канавок b_3 у впадин (по внутреннему диаметру). Аналогично укороченный профиль у колец и скоб (рис. 2.19, б) получается увеличением внутреннего диаметра и прорезанием канавок b_3 у впадины (по наружному диаметру).

ТАБЛИЦА 2.26

Значения (в мм) ширины канавок и высот участков профиля резьбы калибров с укороченным профилем
(по ГОСТ 18107—72)

Шаг S	$F_1 = 0,1S$	F_2		b_3		t_3	
		0,2S	0,15S	Номинальное	Предельное отклонение (\pm)	наибольшее	наименьшее
0,2	0,02	—	—	С радиусом r_1 или r_2 соответственно	—	—	—
0,25	0,025	—	—				
0,3	0,03	—	—				
0,35	0,035	—	—				
0,4	0,04	—	—				
0,45	0,045	—	—				
0,5	0,05	—	—				
0,6	0,06	—	—				
0,7	0,07	—	—				
0,75	0,075	—	—				
0,8	0,08	—	—				
1	0,1	—	—				
1,25	0,125	0,25	—	0,3	0,04	0,48	0,27
1,5	0,15	0,3	—	0,4	0,04	0,55	0,35
1,75	0,175	0,35	—	0,45	0,05	0,65	0,4
2	0,2	0,4	—	0,5	0,05	0,73	0,47
2,5	0,25	—	0,375	0,8	0,05	0,75	0,5
3	0,3	—	0,45	1,0	0,08	0,96	0,54
3,5	0,35	—	0,525	1,1	0,08	1,08	0,67
4	0,4	—	0,6	1,3	0,1	1,25	0,74

Примечание. Допускается контролировать общую высоту профиля t_3 вместо контроля размера канавки b_3 и ее несоосности.

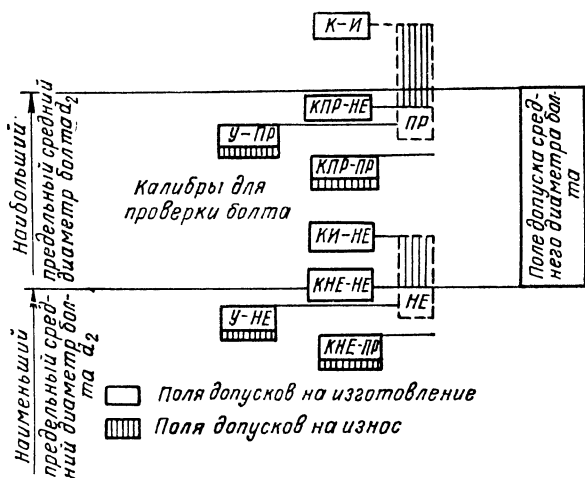


Рис. 2.20

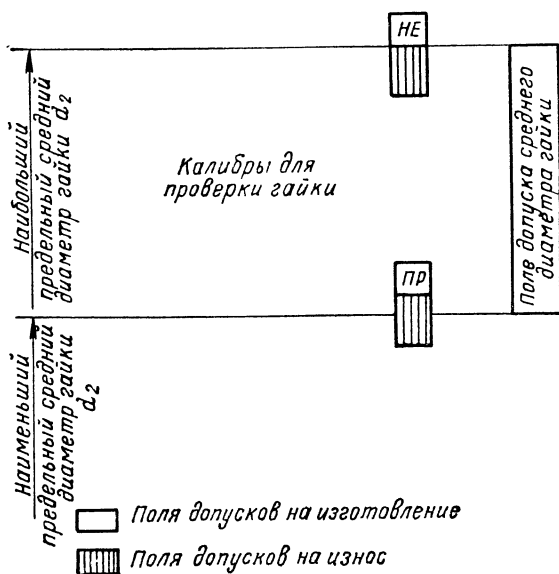


Рис. 2.21

Качавки для укороченного профиля b_3 должны прорезаться у резьбы калибров, начиная с шага 1,25 и более; у резьбы калибров с меньшими шагами прорезка канавок необязательна. Форма канавки—произвольная.

В табл. 2.26 даны значения b_3 , а также значения F_1 и F_2 резьбы; величины F_1 и F_2 являются справочными, служат для расчета наружного и внутреннего диаметров резьбы калибров с укороченным профилем и непосредственному контролю не подлежат.

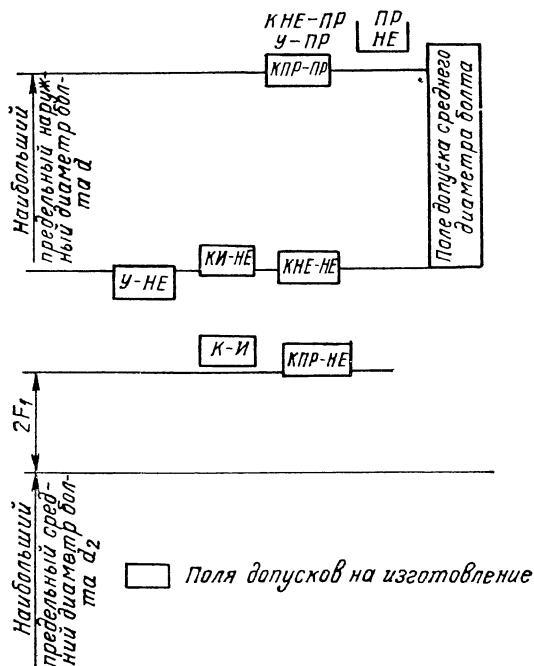


Рис. 2.22

Несоосность δ канавки b_3 (рис. 219, в) относительно оси симметрии впадины профиля резьбы допускается не более предельного отклонения канавки b_3 , указанного в табл. 2.26. Если действительное смещение оси менее допустимого смещения, отклонение δ может быть увеличено на удвоенную разность между допустимым и действительным смещением.

Длина резьбы проходных калибров должна составлять не менее 80% длины свинчивания резьбы. Длина резьбы непроходных калибров должна составлять не менее трех полных витков.

Схемы расположения полей допусков калибров и значения предельных отклонений. Схемы расположения полей допусков резьбы калибров приведены на рис. 2.20—2.27.

В табл. 2.27 приведены указания для расчета резьбовых калибров и контркалибров, номера рисунков со схемами расположения полей

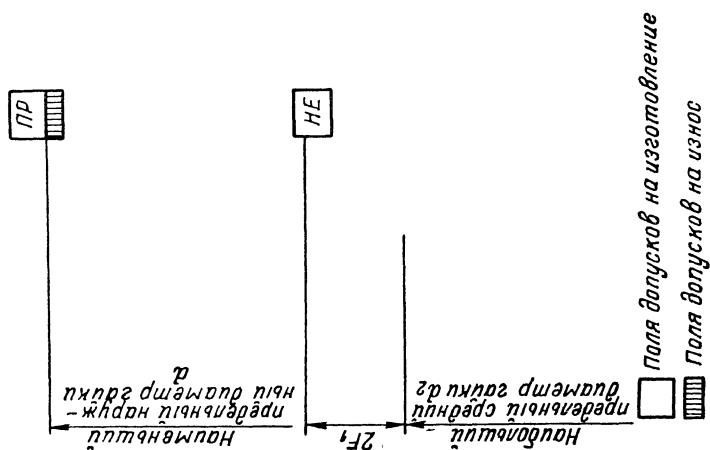


Рис. 2.23

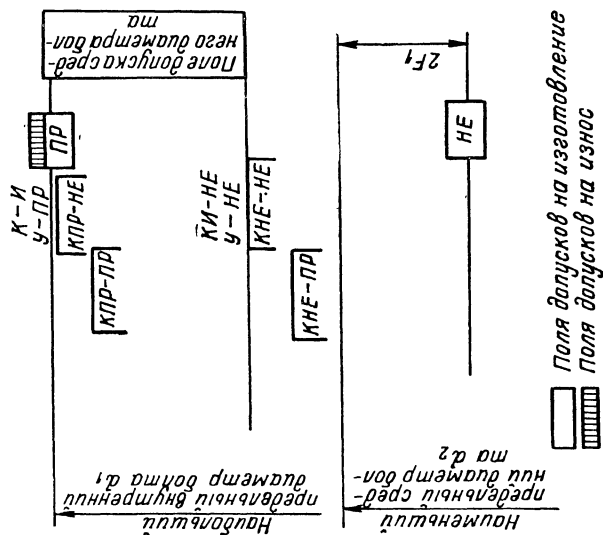


Рис. 2.24

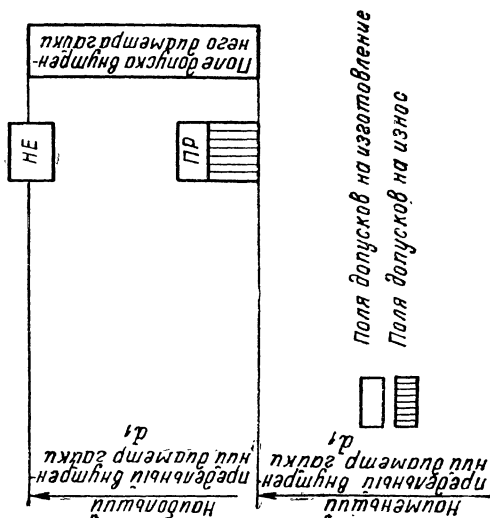


Рис. 2.27

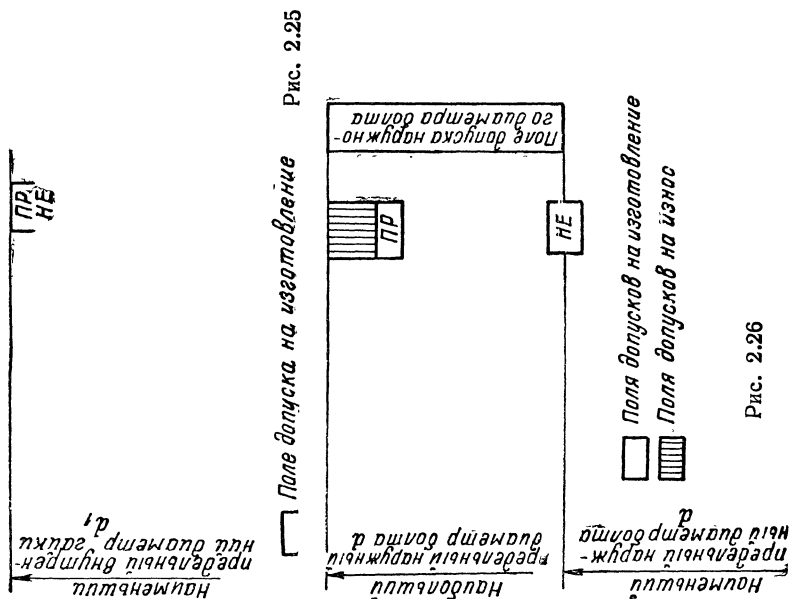


Рис. 2.26

Определение предельных размеров резьбы резьбовых

Калибры резьбовые		Профиль резьбы	Предельные		
			Наружный диаметр		
			отсчитывается	№ рис	№ табл.
Пробки	ПР	Полный	От наименьшего d гайки	2.23	2.36
	НЕ	Укороченный	От наибольшего d_2 гайки плюс $2F_1$		
Кольца и скобы	ПР	Полный	Наименьший d ка- либра от наибольшего d болта	2.22	2.33
	НЕ	Укороченный			
Контр- калибры- пробки	КПР-ПР	Полный	От наибольшего d болта	2.22	2.34
	КПР-НЕ	Укороченный	От наибольшего d_2 болта плюс $2F_1$		
	К-И	Укороченный			
	КНЕ-ПР	Полный	От наибольшего d_2 болта	2.22	2.35
	КНЕ-НЕ	Полный	От наибольшего d болта минус допуск d_2 болта		
	КИ-НЕ	Полный			
	У-ПР	Полный	От наибольшего d болта	2.22	2.34
	У-НЕ	Полный	От наибольшего d болта минус допуск d_2 болта	2.22	2.35

калибров и контркалибров (по ГОСТ 18107—72)

ТАБЛИЦА 2.27

отклонения резьбы калибра					
Средний диаметр			Внутренний диаметр		
отсчитывается	№ рис.	№ табл.	отсчитывается	№ рис.	№ табл.
От наименьшего d_2 гайки	2.21	2.32	Наибольший d_1 ка- либра от наименьшего d_1 гайки	2.25	2.33
От наибольшего d_2 гайки					
От наибольшего d_2 болта	2.20	2.30	От наибольшего d_1 болта	2.24	2.37
От наименьшего d_2 болта		2.31	От наименьшего d_2 болта минус $2F_1$		
От наибольшего d_2 болта	2.20	2.30	Наибольший d_1 ка- либра от наибольшего d_1 болта	2.24	2.33
От наименьшего d_2 болта	2.20	2.31	Наибольший d_1 ка- либра от наибольшего d_1 болта минус допуск болта	2.24	2.33
От наибольшего d_2 болта	2.20	2.30	Наибольший d_1 ка- либра от наибольшего d_1 болта	2.24	2.33
От наименьшего d_2 болта	2.20	2.31	Наибольший d_1 ка- либра от наибольшего d_1 болта минус допуск d_2 болта		

ТАБЛИЦА 2.28
 Определение предельных размеров гладких калибров для проверки резьбы болта и гайки
 (по ГОСТ 18107—72)

Калибры гладкие	Предельные отклонения отсчитываются		№ рис.	№ табл.
Пробки для проверки внутрен- него диаметра гайки	ПР	От наименьшего внутреннего диа- метра резьбы гайки	2.27	2.38
	НЕ	От наибольшего внутреннего диа- метра резьбы гайки		
Скобы для проверки наруж- ного диаметра болта	ПР	От наибольшего наружного диаметра резьбы болта	2.26	
	НЕ	От наименьшего наружного диаметра резьбы болта		

допусков их резьбы и номера таблиц, в которых даны численные значения предельных отклонений диаметров резьбы калибров и контркалибров. Соответствующие указания, номера рисунков и таблиц гладких калибров для контроля приведены в табл. 2.28. Формулы для расчета предельных размеров резьбы калибров и контркалибров приведены в табл. 2.29. Допустимые отклонения для шага и половины угла профиля резьбы калибров приведены в табл. 2.39 и 2.40.

Некоторые технические требования на резьбовые калибры для метрической резьбы (по ГОСТ 2016—68)

Устанавливаются следующие конструктивные признаки отличия непроходных калибров: для непроходных колец — обязательная проточка по наружной цилиндрической поверхности; для вставок с укороченным профилем диаметром свыше 2,2 мм — один цилиндрический пояс; для насадок с укороченным профилем — два цилиндрических пояска.

На вставках и насадках проходных резьбовых калибров (ПР) для диаметров резьбы от 6 мм и более и шагов резьб от 0,75 мм и более должна быть грязевая канавка. Грязевая канавка должна пересекать нитки резьбы параллельно оси вставки или насадки и проходить перед началом первой нитки.

По требованию заказчика проходные резьбовые калибры (ПР) могут изготавливаться без грязевой канавки.

У вставок и насадок при шаге резьбы 1 мм и более и у колец при шаге резьбы 1,5 мм и более заходные нитки должны быть срезаны до полной ширины витка и притуплены.

Измерительные детали калибров должны изготавливаться из стали марки Х по ГОСТ 5950—63 или ШХ15 по ГОСТ 801—60.

Допускается изготовление измерительных деталей из сталей марок У10А, У12А по ГОСТ 1435—54 и 9ХС по ГОСТ 5950—63.

Твердость измерительных поверхностей калибров-пробок при диаметре резьбы до 3 мм должна быть *HRC* 52—58, а измерительных поверхностей калибров-пробок при диаметре резьбы св. 3 мм и калибров-колец при диаметре резьбы св. 1 мм должна быть *HRC* 58—64 (измерительные поверхности калибров, подвергающиеся хромированию, должны иметь твердость *HRC* 56—64).

Резьбовые калибры-кольца при диаметре резьбы от 6 до 100 мм и вставки, насадки, пробки при диаметре резьбы от 1 до 100 мм должны хромироваться. Резьбовые калибры для метрической резьбы с натягами могут не хромироваться.

Шероховатость поверхностей калибров должна соответствовать данным табл. 2.41.

Отклонения конусности конуса 1:50 хвостовиков вставок, а также ручек к ним не должны превышать 6-й степени точности по ГОСТ 8908—58.

Измерительные детали калибров должны быть подвергнуты старению.

Пробки и вставки диаметром до 3 мм изготавливаются с наружным и внутренним центрами, диаметром свыше 3 мм — с внутренними центрами. Наружные центры шлифуются (с оставлением фасок) или притупляются.

ТАБЛИЦА 2.29

Формулы для расчета предельных размеров резьбы калибров и контркалибров

Обозначения в формулах: d , d_2 , d_1 — номинальные размеры наружного, среднего и внутреннего диаметров болта и гайки; T , d_2^p — допуск на средний диаметр болта; T , d_2^p — допуск на средний диаметр гайки; es — основные отклонения болта; EI — основные отклонения гайки; Δ_i — отклонения диаметра резьбы калибров и контркалибров от исходного размера (верхнее Δ_H , нижнее нового Δ_h , изношенного — Δ_H), b_1 — ширина канавки колец с полным профилем; b_2 — ширина канавки пробок с полным профилем; b_3 — ширина канавки калибров с укороченным профилем; F_1 — расстояние между диаметром выступов резьбы калибра с укороченным профилем и средним диаметром; T_2 — расстояние между диаметром начала канавки калибра с укороченным профилем и средним диаметром. r_1 — радиус, соответствующий канавке b_1 ; r_2 — радиус, соответствующий канавке b_2

Вид калибра	Профиль резьбы	Наружный диаметр	Средний диаметр	Внутренний диаметр
Пробки	ПР	$(d + EI) + \Delta_i$	$(d_2 + EI) + \Delta_i$	Наибольший размер $(d_1 + EI) + \Delta_i$ с канавкой b_2 или радиусом r_2
	НЕ	$(d_2 + EI + T_{d_2^p} + 2F_1) + \Delta_i$	$(d_2 + EI + T_{d_2^p}) + \Delta_i$	Наибольший размер $(d_1 + EI) + \Delta_i$ с канавкой b_3 (или радиусом при $S < 1,25$ мм)
Кольца	ПР	Наименьший размер $(d - es) + \Delta_i$ с канавкой b_1 или радиусом r_1	$(d_2 - es) + \Delta_i$	$(d_1 - es) + \Delta_i$
	НЕ	Наименьший размер $(d - es) + \Delta_i$ с канавкой b_3 (или радиусом при $S < 1,25$ мм)	$(d_2 - es - T_{d_2^p}) + \Delta_i$	$(d_2 - es - T_{d_2^p} - 2F_1) + \Delta_i$

Контраклябрь-пробы

КПР-ПР	Полный	$(d - es) + \Delta_i$	$(d_2 - es) + \Delta_i$	Наибольший размер $(d_1 - es) + \Delta_i$ с канавкой b_2 или радиусом r_2
КПР-НЕ	Укороченный	$(d_2 - es + 2F_1) + \Delta_i$	$(d_2 - es) + \Delta_i$	Наибольший размер $(d_1 - es) + \Delta_i$ с канавкой b_3 (или радиусом при $S < 1,25$ мм)
У-ПР	Полный	$(d - es) + \Delta_i$	$(d_2 - es) + \Delta_i$	Наибольший размер $(d_1 - es) + \Delta_i$ с канавкой b_2 или радиусом r_2
К-И	Укороченный	$(d_2 - es + 2F_1 \Delta_i)$	$(d_2 - es) + \Delta_i$	Наибольший размер $(d_1 - es) + \Delta_i$ с канавкой b_3 (или радиусом при $S < 1,25$ мм)
КНЕ-ПР	Полный	$(d - es) + \Delta_i$	$(d_2 - es - T \frac{\delta}{d_2^6}) + \Delta_i$	Наибольший размер $(d_1 - es - T \frac{\delta}{d_2^6}) + \Delta_i$ с канавкой b_2 или радиусом r_2
КНЕ-НЕ	Полный	$(d - es - T \frac{\delta}{d_2^6}) + \Delta_i$	$(d_2 - es - T \frac{\delta}{d_2^6}) + \Delta_i$	
У-НЕ	Полный	$(d - es - T \frac{\delta}{d_2^6}) + \Delta_i$	$(d_2 - es - T \frac{\delta}{d_2^6}) + \Delta_i$	
КИ-НЕ	Полный	$(d - es - T \frac{\delta}{d_2^6}) + \Delta_i$	$(d_2 - es - T \frac{\delta}{d_2^6}) + \Delta_i$	

Примечания:

1. Формулы в скобках определяют исходные (номинальные) размеры диаметров резьбы калибров и контркалибров.
2. Основные отклонения es и EI учитываются как абсолютные величины.
3. Предельные отклонения Δ_i ($\Delta_B, \Delta_H, \Delta_H$) берутся из соответствующих таблиц ГОСТ с указанными в таблицах знаками плюс или минус.
4. Канавки шириной b_1, b_2, b_3 или очерченные радиусами r_1, r_2 впадины резьбы заглублены в тело калибров и контркалибров сверх определяемых формулами предельных размеров, получают за счет размеров резьбообразующих инструментов.

Предельные отклонения среднего диаметра колец и

Шаг S в мм	Интервалы диаметров резьбы d в мм	Кольцо и ско									
		Степени									
		4		6, 7, 8							
		Предельные									
		Новые		Изно- шен- ные	Новые						
верх- нее	ниж- нее	верх- нее	ниж- нее								
0,20	От 1 до 1,1	+8	0	+14	+8	0					
	Св. 1,4 до 2,8										
0,25	От 1 до 2,8										
0,30	От 1 до 1,4										
0,35	Св. 1,4 до 2,8				+7	-3					
	Св. 2,8 до 5,6										
0,40	Св. 1,4 до 2,8										
0,45	Св. 1,4 до 2,8										
0,50	Св. 2,8 до 5,6										
	Св. 5,6 до 22,4										
0,60	Св. 2,8 до 5,6										
0,70	Св. 2,8 до 5,6										
0,75	Св. 2,8 до 5,6	+7	-3	+14	+5	-9					
	Св. 5,6 до 11,2										
	Св. 11,2 до 45,0										
0,80	Св. 2,8 до 5,6										
1,00	Св. 5,6 до 22,4										
	Св. 22,4 до 45										
	Св. 45 до 90										
1,25	Св. 5,6 до 11,2	+5	-9	+14	+1	-17					
	Св. 11,2 до 22,4	+7	-3	+14	+5	-9					
1,50	Св. 5,6 до 45	+5	-9	+14	+1	-17					
	Св. 45 до 90										
	Св. 90 до 180										
1,75	Св. 11,2 до 22,4										
2,00	Св. 11,2 до 22,4										
	Св. 22,4 до 180										
2,50	Св. 11,2 до 22,4										
3,00	Св. 22,4 до 45										
	Св. 45 до 180										
3,50	Св. 22,4 до 45						+1	-17	+13	-0,5	-23,5
4,00	Св. 22,4 до 90										
	Св. 90 до 180										

ТАБЛИЦА 2.30

скоб ПР и контркалибров (по ГОСТ 18107—72)

бы ПР	Контркалибры						
	КПР-ПР						КПР-НЕ
точности среднего диаметра резьбы болта							
	4			6, 7, 8			4
отклонения среднего диаметра в мкм							
Изношен- ные	Новые		Изношен- ные	Новые		Изно- шен- ные	верх- нее
	верхнее	нижнее		верхнее	ниж- нее		
+14				-3	-7	-9	
+14	-3	-7	-9	-6,5	-11,5	-13,5	+10
+14	-6,5	-11,5	-13,5	-13	-18	-21	+9,5
+13	-13	-18	-21	-21,5	-27,5	-30,5	+7,5
+14	-6,5	-11,5	-13,5	-13	-18	-21	+9,5
+13	-13	-18	-21	-21,5	-27,5	-30,5	+7,5
+13,5	-21,5	-27,5	-30,5	-28	-36	-40	+4

Шар S в мм	Интервалы диаметров резьбы d в мм	КПР-НЕ		К-И							
		Степени									
		4	6, 7, 8		4						
		Предельные									
		ниж- нее	верх- нее	ниж- нее	верх- нее	ниж- нее					
0,20	От 1 до 1,4	+6	+10	+6							
	Св. 1,4 до 2,8										
0,25	От 1 до 2,8										
0,30	От 1 до 1,4										
0,35	Св. 1,4 до 2,8		+9,5	+4,5	+16	+12					
	Св. 2,8 до 5,6										
0,40	Св. 1,4 до 2,8										
0,45	Св. 1,4 до 2,8										
0,50	Св. 2,8 до 5,6										
	Св. 5,6 до 22,4										
0,60	Св. 2,8 до 5,6										
0,70	Св. 2,8 до 5,6										
0,75	Св. 2,8 до 5,6	+4,5	+7,5	+2,5	+16,5	+11,5					
	Св. 5,6 до 11,2										
	Св. 11,2 до 45,0										
0,80	Св. 2,8 до 5,6										
1,00	Св. 5,6 до 22,4										
	Св. 22,4 до 45										
	Св. 45 до 90						+2,5	+4	-2	+16,5	+11,5
	Св. 5,6 до 11,2						+4,5	+7,5	+2,5	+16,5	+11,5
1,25	Св. 11,2 до 22,4						+2,5	+4	-2	+16,5	+11,5
1,50	Св. 5,6 до 45										
	Св. 45 до 90										
	Св. 90 до 180										
1,75	Св. 11,2 до 22,4										
2,00	Св. 11,2 до 22,4										
	Св. 22,4 до 180										
2,50	Св. 11,2 до 22,4										
3,00	Св. 22,4 до 45										
	Св. 45 до 180										
3,50	Св. 22,4 до 45	-2	+3,5	-4,5	+16	+10					
4,00	Св. 22,4 до 90										
	Св. 90 до 180										

Продолжение табл. 2.30

Контркалибры								
			У-ПР					
точности среднего диаметра резьбы болта								
6, 7, 8			4			6, 7, 8		
отклонения среднего диаметра в мкм								
верхнее	нижнее	Новые		Изношен- ные	Новые		Изно- шен- ные	
		верхнее	нижнее		верх- нее	ниж- нее		
+16	+12				+4	0	-2	
+16,5	+11,5	+4	0	-2	+2	-3	-5	
+16,5	+11,5	+2	-3	-5	-2	-7	-10	
+16	+10	-2	-7	-10	-8	-14	-17	
+16,5	+11,5	+2	-3	-5	-2	-7	-10	
+16	+10	-2	-7	-10	-8	-14	-17	
+17,5	+9,5	-8	-14	-17	-12	-20	-24	

Предельные отклонения среднего диаметра колец и

Шар S в мм	Интервалы диаметров резьбы d в мм	Степени		
		4		
		Новые		Изношен- ные
		верхнее	нижнее	
0,20	От 1 до 1,4 Св. 1,4 до 2,8	0	-8	+3
0,25	От 1 до 2,8			
0,30	От 1 до 1,4			
0,35	Св. 1,4 до 2,8 Св. 2,8 до 5,6			
	Св. 1,4 до 2,8			
0,40	Св. 1,4 до 2,8			
0,45	Св. 1,4 до 2,8			
0,50	Св. 2,8 до 5,6 Св. 5,6 до 22,4			
	Св. 2,8 до 5,6			
0,60	Св. 2,8 до 5,6			
0,70	Св. 2,8 до 5,6			
0,75	Св. 2,8 до 5,6 Св. 5,6 до 11,2 Св. 11,2 до 45			
	Св. 2,8 до 5,6			
	Св. 5,6 до 22,4			
1,00	Св. 22,4 до 45 Св. 45 до 90		-14	+5
1,25	Св. 5,6 до 11,2 Св. 11,2 до 22,4	-10	+4	
	Св. 5,6 до 45 Св. 45 до 90 Св. 90 до 180	-14	+5	
1,50	Св. 11,2 до 22,4			
1,75	Св. 11,2 до 22,4			
2,00	Св. 11,2 до 22,4 Св. 22,4 до 180			
2,50	Св. 11,2 до 22,4			
3,00	Св. 22,4 до 45 Св. 45 до 180	-18	+6	
	Св. 22,4 до 45			
3,50	Св. 22,4 до 45			
4,00	Св. 22,4 до 90 Св. 90 до 180			

скоб НЕ и контркалибров (по ГОСТ 18107—72)

ТАБЛИЦА 2.31

Кольца и скобы НЕ									
точности среднего диаметра резьбы болта									
6			7			8			
Предельные отклонения среднего диаметра в мкм									
Новые		Изношен- ные	Новые		Изно- шен- ные	Новые		Изно- шен- ные	
верхнее	нижнее		верх- нее	ниж- нее		верх- нее	ниж- нее		
0	-8	+3	0			0	-10	+4	
				-10	+4				
	-10	+4					-14	+5	
				-14	+5				
	-14	+5		-18	+6				
				-14	+5				
	-18	+6					-23	+8	
	-14	+5		-18	+6		-18	+6	
	-18	+6		-23	+8				
		-18	+6						
-23	+8	-23	+8			-30	+10		

Шар S в мм	Интервалы диаметров резьбы d в мм	Степени		
		4		
		Новые		Изношен- ные
		верхнее	нижнее	
0,20	От 1 до 1,4	—11	—15	—17
	Св. 1,4 до 2,8			
0,25	От 1 до 2,8			
0,30	От 1 до 1,4			
0,35	Св. 1,4 до 2,8			
	Св. 2,8 до 5,6			
0,40	Св. 1,4 до 2,8			
0,45	Св. 1,4 до 2,8			
0,50	Св. 2,8 до 5,6	—13,5	—18,5	—20,5
	Св. 5,6 до 22,4			
0,60	Св. 2,8 до 5,6			
0,70	Св. 2,8 до 5,6			
0,75	Св. 2,8 до 5,6			
	Св. 5,6 до 11,2			
	Св. 11,2 до 45			
0,80	Св. 2,8 до 5,6			
1,00	Св. 5,6 до 22,4	—18	—23	—26
	Св. 22,4 до 45			
	Св. 45 до 90			
1,25	Св. 5,6 до 11,2	—13,5	—18,5	—20,5
	Св. 11,2 до 22,4	—18	—23	—26
1,50	Св. 5,6 до 45			
	Св. 45 до 90			
	Св. 90 до 180			
1,75	Св. 11,2 до 22,4			
2,00	Св. 11,2 до 22,4			
	Св. 22,4 до 180			
2,50	Св. 11,2 до 22,4			
3,00	Св. 22,4 до 45			
	Св. 45 до 180	—22,5	—28,5	—31,5
3,50	Св. 22,4 до 45			
4,00	Св. 22,4 до 90			
	Св. 90 до 180			

Продолжение табл. 2.31

Контркалибры								
КНЕ-ПР								
точности среднего диаметра резьбы болта								
6			7			8		
Предельные отклонения среднего диаметра в мкм								
Новые		Изношен- ные	Новые		Изно- шен- ные	Новые		Изно- шен- ные
верхнее	нижнее		верх- нее	ниж- нее		верх- нее	ниж- нее	
—11	—15	—17	—13,5	—18,5	—20,5	—13,5	—18,5	—20,5
—13,5	—18,5	—20,5				—18	—23	—26
			—18	—23	—26			
—22,5	—28,5	—31,5						
			—18	—23	—26			
—22,5	—28,5	—31,5	—22,5	—28,5	—31,5	—27,5	—35,5	—39,5
—18	—23	—26				—22,5	—28,5	—31,5
—22,5	—28,5	—31,5	—27,5	—35,5	—39,5	—27,5	—35,5	—39,5
—27,5	—35,5	—39,5	—27,5	—35,5	—39,5	—34,5	—45,5	—49,5
—27,5	—35,5	—39,5						

Шаг S в мм	Интервалы диаметров резьбы d в мм				
		4		6	
		верх- нее	ниж- нее	верх- нее	ниж- нее
0,20	От 1 до 1,4	+2	-2	+2	-2
	Св. 1,4 до 2,8				
0,25	От 1 до 2,8				
0,30	От 1 до 1,4				
0,35	Св. 1,4 до 2,8			+2,5	-2,5
	Св. 2,8 до 5,6				
0,40	Св. 1,4 до 2,8				
0,45	Св. 1,4 до 2,8				
0,50	Св. 2,8 до 5,6	+2,5	-2,5		
	Св. 5,6 до 22,4				
0,60	Св. 2,8 до 5,6				
0,70	Св. 2,8 до 5,6				
0,75	Св. 2,8 до 5,6			+2,5	-2,5
	Св. 5,6 до 11,2				
	Св. 11,2 до 45,0				
0,80	Св. 2,8 до 5,6				
1,00	Св. 5,6 до 22,4	+2,5	-2,5	+3	-3
	Св. 22,4 до 45				
	Св. 45 до 90				
1,25	Св. 5,6 до 11,2	+2,5	-2,5	+2,5	-2,5
	Св. 11,2 до 22,4	+2,5	-2,5		
1,50	Св. 5,6 до 45				
	Св. 45 до 90				
	Св. 90 до 180				
1,75	Св. 11,2 до 22,4			+3	-3
2,00	Св. 11,2 до 22,4				
	Св. 22,4 до 180				
2,50	Св. 11,2 до 22,4				
3,00	Св. 22,4 до 45	+3	-3	+4	-4
	Св. 45,0 до 180				
3,50	Св. 22,4 до 45				
4,00	Св. 22,4 до 90	+3	-3		
	Св. 90 до 180				

Продолжение табл. 2.31

Контркалибры									
КНЕ-НЕ				КИ-НЕ					
Степени точности среднего диаметра резьбы болта									
7		8		4		6		7	
Предельные отклонения среднего диаметра в мкм									
верхнее	ниж- нее	верх- нее	ниж- нее	верх- нее	ниж- нее	верх- нее	ниж- нее	верх- нее	ниж- нее
+2,5	-2,5	+2,5	-2,5	+5	+1	+5	+1	+6,5	+1,5
+2,5	-2,5	+2,5	-2,5	+5	+1	+6,5	+1,5	+7,5	+2,5
		+3	-3			+7,5	+2,5		
		+2,5	-2,5			+7,5	+2,5		
+3	-3	+4	-4	+7,5	+2,5	+9	+3	+9	+3
		+3	-3	+6,5	+1,5	+7,5	+2,5		
+4	-4							+12	+4
+3	-3	+4	-4	+7,5	+2,5	+9	+3	+9	+3
+4	-4							+12	+4
		+5,5	-5,5	+9	+3	+12	+4		

Шаг S в мм	Интервалы диаметров резьбы d в мм	КИ-НЕ			
		8		4	
		верх- нее	ниж- нее	Новые	
верх- нее	ниж- нее				
0,20	От 1 до 1,4	+6,5	+1,5	-4	-8
	Св. 1,4 до 2,8	+7,5	+2,5		
0,25	От 1 до 2,8				
0,30	От 1 до 1,4				
0,35	Св. 1,4 до 2,8				
	Св. 2,8 до 5,6				
0,40	Св. 1,4 до 2,8				
0,45	Св. 1,4 до 2,8				
0,50	Св. 2,8 до 5,6	+9	+3	-5	-10
	Св. 5,6 до 22,4				
0,60	Св. 2,8 до 5,6				
0,70	Св. 2,8 до 5,6				
0,75	Св. 2,8 до 5,6				
	Св. 5,6 до 11,2				
	Св. 11,2 до 45,0				
0,80	Св. 2,8 до 5,6				
1,00	Св. 5,6 до 22,4				
	Св. 22,4 до 45				
	Св. 45 до 90				
1,25	Св. 5,6 до 11,2	+12	+4	-7	-12
	Св. 11,2 до 22,4	+9	+3	-5	-10
1,50	Св. 5,6 до 45	+12	+4	-7	-12
	Св. 45 до 90				
	Св. 90 до 180				
	Св. 11,2 до 22,4				
1,75	Св. 11,2 до 22,4				
	Св. 22,4 до 180				
2,00	Св. 11,2 до 22,4				
2,50	Св. 22,4 до 180				
2,50	Св. 11,2 до 22,4				
	Св. 22,4 до 45				
3,00	Св. 45 до 180				
3,50	Св. 22,4 до 45	+15,5	+4,5	-9	-15
4,00	Св. 22,4 до 90				
	Св. 90 до 180				

Продолжение табл. 2.31

Контркалибры												
У-НЕ												
Степени точности среднего диаметра резьбы болта												
	6			7			8					
Предельные отклонения среднего диаметра в мкм												
Изношен- ные	Новые		Изно- шен- ные	Новые		Изно- шен- ные	Новые		Изно- шен ные			
	верх- нее	ниж- нее		верх- нее	ниж- нее		верх- нее	ниж- нее				
— 10	— 4	— 8	— 10	— 5	— 10	— 12	— 5	— 10	— 12			
	— 5	— 10	— 12				— 7	— 12	— 15			
— 12	— 7	— 12	— 15	— 7	— 12	— 15	— 9	— 15	— 18			
				— 9	— 15	— 18						
				— 7	— 12	— 15						
				— 9	— 15	— 18						
— 15	— 9	— 15	— 18	— 9	— 15	— 18	— 11,5	— 19,5	— 23,5			
— 12	— 7	— 12	— 15				— 9	— 15	— 18			
— 15	— 9	— 15	— 18				— 11,5	— 19,5	— 23,5	— 11,5	— 19,5	— 23,5
							— 9	— 15	— 18			
				— 11,5	— 19,5	— 23,5						
— 18	— 11,5	— 19,5	— 23,5	— 11,5	— 19,5	— 23,5	— 15	— 26	— 30			

Предельные отклонения среднего диаметра

Шаг S в мм	Интервалы диаметров резьбы d в мм	ПР					
		Степени					
		4,5			6,7		
		Предельные					
		Новые		Изношен- ные	Новые		Изношен- ные
верх- нее	ниж- нее	верх- нее	ниж- нее				
0,20	От 1 до 1,4	+3	-3	-8	+5,5	-1,5	-7,5
	Св. 1,4 до 2,8						
0,25	От 1 до 2,8						
0,30	От 1 до 1,4						
0,35	Св. 1,4 до 2,8	+5,5	-1,5	-7,5	+10,5	+1,5	-6,5
	Св. 2,8 до 5,6						
0,40	Св. 1,4 до 2,8						
0,45	Св. 1,4 до 2,8						
0,50	Св. 2,8 до 5,6						
	Св. 5,6 до 22,4						
0,60	Св. 2,8 до 5,6						
0,70	Св. 2,8 до 5,6						
0,75	Св. 2,8 до 5,6	+10,5	+1,5	-6,5	+17,5	+6,5	-5,5
	Св. 5,6 до 11,2						
	Св. 11,2 до 45,0						
0,80	Св. 2,8 до 5,6	+5,5	-1,5	-7,5	+10,5	+1,5	-6,5
1,00	Св. 5,6 до 22,4	+10,5	+1,5	-6,5	+17,5	+6,5	-5,5
	Св. 22,4 до 45						
	Св. 45 до 90						
1,25	Св. 5,6 до 11,2						
	Св. 11,2 до 22,4						
1,50	Св. 5,6 до 45	+17,5	+6,5	-5,5	+23	+9	-5
	Св. 4,5 до 90						
	Св. 90 до 180						
1,75	Св. 11,2 до 22,4	+10,5	+1,5	-6,5	+17,5	+6,5	-5,5
2,00	Св. 11,2 до 22,4	+17,5	+6,5	-5,5	+23	+9	-5
	Св. 22,4 до 180						
2,50	Св. 11,2 до 22,4						
3,00	Св. 22,4 до 45						
	Св. 45 до 180						
3,50	Св. 22,4 до 45						
4,00	Св. 22,4 до 90	+23	+9	-5	+33	+15	-3
	Св. 90 до 180						

ТАБЛИЦА 2.32

пробок ПР и НЕ (по ГОСТ 18107—72)

Пробки												
НЕ												
точности среднего диаметра резьбы гайки												
4			5			6			7			
отклонения среднего диаметра в мкм												
Новые			Изношен- ные	Новые		Изношен- ные	Новые		Изношен- ные	Новые		Изношен- ные
верх- нее	ниж- нее	верх- нее		ниж- нее	верх- нее		ниж- нее	верх- нее		ниж- нее		
+6	0	-3	+6	0	-3	+7	0	-4				
+7	0	-4	+7	0	-4	+9	0	-5	-	-	-	
+9	0	-5	+9	0	-5	+11	0	-6	+9	0	-5	
+7	0	-4				+9	0	-5				
+9	0	-5	+11	0	-6	+11	0	-6	+11	0	-6	
+7	0	-4	+9	0	-5	+9	0	-5	+14	0	-8	
+9	0	-5	+11	0	-6	+11	0	-6	+11	0	-6	
+11	0	-6	+11	0	-6	+14	0	-8	+14	0	-8	
+9	0	-5				+11	0	-6				
+11	0	-6	+14	0	-8	+14	0	-8	+18	0	-10	
+14	0	-8	+18	0	-10	+18	0	-10				

Предельные отклонения наружного диаметра колец и внутреннего

Шаг S в мм	Интервалы диаметров резьбы d в мм	Кольца																	
		ПР				НЕ													
		Степени точности																	
		4	6, 7, 8	4	6	7	8												
		Наименьший наружный диаметр в мкм																	
0,20	От 1 до 1,4	+6	+6	+6	+6	+7	+7												
	Св. 1,4 до 2,8																		
0,25	От 1 до 2,8																		
0,30	От 1 до 1,4																		
0,35	Св. 1,4 до 2,8		+7		+7	+6	+7	+9											
	Св. 2,8 до 5,6																		
0,40	Св. 1,4 до 2,8																		
0,45	Св. 1,4 до 2,8																		
0,50	Св. 2,8 до 5,6							+9	+9	+6	+7	+11							
	Св. 5,6 до 22,4																		
0,60	Св. 2,8 до 5,6																		
0,70	Св. 2,8 до 5,6																		
0,75	Св. 2,8 до 5,6	+7		+9								+7	+9	+11					
	Св. 5,6 до 11,2																		
	Св. 11,2 до 45																		
0,80	Св. 2,8 до 5,6		+9		+9	+6	+7							+14					
	Св. 5,6 до 22,4																		
1,00	Св. 22,4 до 45													+7	+11	+9	+7	+11	
	Св. 45 до 90																		
	Св. 5,6 до 11,2																		
1,25	Св. 11,2 до 22,4							+9	+11	+9	+7							+14	
	Св. 5,6 до 45																		
1,50	Св. 45 до 90	+11		+14								+9	+7					+11	
	Св. 90 до 180																		
	Св. 11,2 до 22,4																		
1,75	Св. 22,4 до 180		+11		+14	+9	+7											+14	
2,00	Св. 11,2 до 22,4																		
	Св. 22,4 до 180																		
2,5	Св. 11,2 до 22,4													+14	+14	+9	+7	+18	
3,00	Св. 22,4 до 45																		
	Св. 45 до 180																		
3,50	Св. 22,4 до 45							+11	+14	+11	+14							+18	
4,00	Св. 22,4 до 90																		
	Св. 90 до 180																		

ТАБЛИЦА 2.33

диаметра пробок и контркалибров (по ГОСТ 18107—72)

Контркалибры										Пробки	
КПР-ПР		КПР-НЕ, У-ПР, К-И		КНЕ-ПР				КНЕ-НЕ, У-НЕ, КИ-НЕ		ПР, НЕ	
среднего диаметра резьбы болта										Степени точности среднего диаметра резьбы гайки	
4	6, 7, 8	4	6, 7, 8	4	6	7	8	4, 6, 7, 8	4, 5, 6, 7		
Наибольший внутренний диаметр в мкм											
—6	—6	—4	—4	—14	—14	—17	—17	—22	—17	0	0
	—10		—5		—17		—22				
—10	—17	—5	—7	—17	—22	—22	—27				
—17	—26	—7	—9	—22	—27	—27	—33,5				
—10	—17	—5	—7	—17	—22		—27				
—17	—26	—7	—9	—22	—27	—33,5	—33,5				
						—27					
—26	—34	—9	—11,5	—27	—33,5	—33,5	—42				

Шаг <i>S</i> в мм	Интервалы диаметров резьбы <i>d</i> в мм	Контр											
		КПР-ПР											
		Степени											
		4		6, 7, 8		4							
		Предельные											
		верх- нее	ниж- нее	верх- нее	ниж- нее	верх- нее	ниж- нее						
0,20	От 1 до 1,4	+6	-6	+6	-6	+11	+5						
	Св. 1,4 до 2,8												
0,25	От 1 до 2,8												
0,3	От 1 до 1,4												
0,35	Св. 1,4 до 2,8												
	Св. 2,8 до 5,6			+7	-7								
0,40	Св. 1,4 до 2,8												
0,45	Св. 1,4 до 2,8												
0,50	Св. 2,8 до 5,6												
	Св. 5,6 до 22,4												
0,60	Св. 2,8 до 5,6	+7	-7	+9	-9	+10,5	+3,5						
0,70	Св. 2,8 до 5,6												
0,75	Св. 2,8 до 5,6												
	Св. 5,6 до 11,2												
	Св. 11,2 до 45												
0,80	Св. 2,8 до 5,6												
	Св. 5,6 до 22,4												
	Св. 22,4 до 45												
1,00	Св. 45 до 90							+9	-9	+11	-11	+9,5	+0,5
	Св. 5,6 до 11,2							+7	-7	+9	-9	+10,5	+3,5
	Св. 11,2 до 22,4												
1,50	Св. 5,6 до 45	+9	-9	+11	-11	+9,5	+0,5						
	Св. 45 до 90												
	Св. 90 до 180												
1,75	Св. 11,2 до 22,4												
2,00	Св. 11,2 до 22,4												
	Св. 22,4 до 180												
2,50	Св. 11,2 до 22,4												
3,00	Св. 22,4 до 45												
	Св. 45 до 180												
3,50	Св. 22,4 до 45							+11	-11	+14	-14	+6,5	-4,5
4,00	Св. 22,4 до 90												
	Св. 90 до 180												

ТАБЛИЦА 2.34

контркалибры (по ГОСТ 18107—72)

калибры									
КПР-НЕ		К-И				У-ПР			
точности среднего диаметра резьбы болта									
6, 7, 8		4		6, 7, 8		4		6, 7, 8	
отклонения наружного диаметра контргкалибров									
верх- нее	ниж- нее	верхнее	ниж- нее	верх- нее	ниж- нее	верх- нее	ниж- нее	верх- нее	ниж- нее
+11	+5	+17	+11	+17	+11	+8	-6	+6	-6
+10,5	+3,5			+17,5	+10,5			+7	-7
+9,5	+0,5	+17,5	+10,5	+18,5	+9,5	+7	-7	+9	-9
+6,5	-4,5	+18,5	+9,5	+18,5	+7,5	+9	-9	+11	-11
+9,5	+0,5	+17,5	+10,5	+18,5	+9,5	+7	-7	+9	-9
+6,5	-4,5	+18,5	+9,5	+18,5	+7,5	+9	-9	+11	-11
+6,5	-7,5	+18,5	+7,5	+20,5	+6,5	+11	-11	+14	-14

контркалибров (по ГОСТ 18107—72)

ТАБЛИЦА 2.35

калибры											
КНЕ-НЕ											
точности среднего диаметра резьбы болта											
8		4		6		7		8			
отклонения наружного диаметра контркалибров в мкм											
верх- нее	ниж- нее	верх- нее	ниж- нее	верх- нее	ниж- нее	верх- нее	ниж- нее	верх- нее	нижнее		
+7	—7			+6	—6	+7	—7	+7	—7		
+9	—9			+6	—6			+7	—7	+9	—9
+11	—11	+7	—7	+9	—9	+9	—9	+11	—11		
										+11	—11
										+9	—9
+14	—14	+9	—9	+11	—11	+11	—11	+14	—14		
+11	—11	+7	—7	+9	—9			+11	—11		
+14	—14	+9	—9	+11	—11			+14	—14	+14	—14
						+11	—11				
						+18	—18	+11	—11		

Продолжение табл. 2.35

калибры											
У-НЕ											
точности среднего диаметра резьбы болта											
8		4		6		7		8			
отклонения наружного диаметра контркалибров в мкм											
верх- нее	ниж- нее	верх- нее	ниж- нее	верх- нее	ниж- нее	верх- нее	ниж- нее	верх- нее	нижнее		
+11	-3	+2	-10	+2	-10	+2	-12	+2	-12		
+14	-4			+2	-12			+2	-16	+2	-16
+17	-5			+2	-12					+2	-16
+22	-6	+2	-16	+2	-20	+2	-16			+2,5	-25,5
+17	-5	+2	-12	+2	-16	+2	-20	+2	-20		
+22	-6	+2	-16	+2	-20			+2,5	-25,5	+2,5	-25,5
+28	-8	+2	-20	+2,5	-25,5			+2	-20	+3	-33

Предельные отклонения наружного диаметра

Шаг S в мм	Интервалы диаметров резьбы d в мм	ПР				
		Степени				
		4, 5		6, 7		
		Новые		Изно- шен- ные	Новые	
		верх- нее	ниж- нее		верх- нее	ниж- нее
0,20	От 1 до 1,4	+6	-6	-8	+9	-5
	Св. 1,4 до 2,8					
0,25	От 1 до 2,8	+6	-6	-8	+9	-5
0,30	От 1 до 1,4					
0,35	Св. 1,4 до 2,8	+9	-5	-7,5	+15	-3
	Св. 2,8 до 5,6					
0,40	Св. 1,4 до 2,8					
0,45	Св. 1,4 до 2,8					
0,50	Св. 2,8 до 5,6					
	Св. 5,6 до 22,4					
0,60	Св. 2,8 до 5,6					
0,70	Св. 2,8 до 5,6	+15	-3	-6,5	+23	+1
	Св. 2,8 до 5,6					
0,75	Св. 5,6 до 11,2					
	Св. 11,2 до 45	+9	-5	-7,5	+15	-3
0,80	Св. 2,8 до 5,6					
	Св. 5,6 до 22,4	+15	-3	-6,5	+23	+1
1,00	Св. 22,4 до 45					
	Св. 45 до 90					
1,25	Св. 5,6 до 11,2	+23	+1	-5,5	+30	+2
	Св. 11,2 до 22,4					
1,50	Св. 5,6 до 45					
	Св. 45 до 90	+15	-3	-6,5	+23	+1
	Св. 90 до 180					
1,75	Св. 11,2 до 22,4					
	Св. 11,2 до 22,4	+23	+1	-5,5	+30	+2
2,00	Св. 22,4 до 180					
	Св. 22,4 до 180					
2,5	Св. 11,2 до 22,4	+30	+2	-5	+42	+6
	Св. 22,4 до 45					
	Св. 45 до 180					
3,00	Св. 22,4 до 45	+30	+2	-5	+42	+6
	Св. 45 до 180					
	Св. 22,4 до 45					
3,50	Св. 22,4 до 90	+30	+2	-5	+42	+6
	Св. 22,4 до 90					
4,00	Св. 90 до 180	+30	+2	-5	+42	+6
	Св. 90 до 180					

ТАБЛИЦА 2.36

пробок ПР и НЕ (по ГОСТ 18107—72)

Пробки								
НЕ								
точности среднего диаметра резьбы гайки								
4			5		6		7	
Предельные отклонения наружного диаметра в мкм								
Изо- шен- ные	верх- нее	ниж- нее	верх- нее	ниж- нее	верхнее	ниж- нее	верхнее	нижнее
—7,5	+9	—3	+9	—3	+10,5	—3,5		
			+10,5	—3,5			—	—
—6,5	+10,5	—3,5			+13,5	—4,5	+13,5	—4,5
			+13,5	—4,5			+16,5	—5,5
—5,5	+13,5	—4,5			+16,5	—5,5		
—6,5	+10,5	—3,5			+13,5	—4,5		
			+16,5	—5,5			+21	—7
—5,5	+13,5	—4,5	+13,5	—4,5	+16,5	—5,5	+16,5	—5,5
—5	+16,5	—5,5			+21	—7		
—5,5	+13,5	—4,5	+16,5	—5,5	+16,5	—5,5	+21	—7
—5	+16,5	—5,5			+21	—7		
			+21	—7			+27	—9
—3	+21	—7			+27	—9		

Предельные отклонения внутреннего
(по ГОСТ

Шаг S в мм	Интервалы диаметров резьбы d в мм	Кольца				
		ПР				
		Степени точности				
		4		6, 7, 8		
		Предельные отклонения				
		Новые		Изно- шен- ные	Новые	
верх- нее	ниж- нее	верх- нее	ниж- нее			
0,20	От 1 до 1,4	+4	-4	+10	+4	-4
	Св. 1,4 до 2,8					
0,25	От 1 до 2,8					
0,30	От 1 до 1,4					
0,35	Св. 1,4 до 2,8				+5	-5
	Св. 2,8 до 5,6					
0,40	Св. 1,4 до 2,8					
0,45	Св. 1,4 до 2,8					
0,50	Св. 2,8 до 5,6					
	Св. 5,6 до 22,4					
0,60	Св. 2,8 до 5,6	+5	-5	+12	+7	-7
0,70	Св. 2,8 до 5,6					
0,75	Св. 2,8 до 5,6					
	Св. 5,6 до 11,2					
	Св. 11,2 до 45					

ТАБЛИЦА 2.37

диаметра колец и скоб ПР и НЕ
18107—72)

и скобы									
НЕ									
среднего диаметра резьбы болта									
	4	6	7	8					
внутреннего диаметра в мм									
Изношен-ные	верх-нее	ниж-нее	верх-нее	ниж-нее	верх-нее	ниж-нее	верх-нее	ниж-нее	ниж-нее
+10			+4	-12			+5	-15	
					+5	-15			
+12	+4	-12	+5	-15			+7	-21	
					+7	-21			
+16	+5	-15	+7	-21			+9	-27	
					+9	-27			

Шаг S в мм	Интервалы диаметров резьбы d в мм	Кольца				
		ПР				
		Степени точности				
		4		6, 7, 8		
		Предельные отклонения				
		Новые		Изно- шен- ные	Новые	
верх- нее	ниж- нее	верх- нее	ниж- нее			
0,80	Св. 2,8 до 5,6					
1,00	Св. 5,6 до 22,4	+5	-5	+12	+7	-7
	Св. 22,4 до 45					
	Св. 45 до 90	+7	-7	+16	+9	-9
1,25	Св. 5,6 до 11,2	+5	-5	+12	+7	-7
	Св. 11,2 до 22,4	+7	-7	+16	+9	-9
1,50	Св. 5,6 до 45					
	Св. 45 до 90					
	Св. 90 до 180					
1,75	Св. 11,2 до 22,4					
2,00	Св. 11,2 до 22,4					
	Св. 22,4 до 180					
2,5	Св. 11,2 до 22,4					
3,00	Св. 22,4 до 45					
	Св. 45,0 до 180	+9	-9	+21	+11,5	-11,5
3,5	Св. 22,4 до 45					
4,00	Св. 22,4 до 90					
	Св. 90 до 180					

Продолжение табл. 2.37

п скобы									
НЕ									
среднего диаметра болта									
внутреннего диаметра в мкм									
Изн- шен- ные	верх- нее	ниж- нее	верх- нее	ниж- нее	верх- нее	ниж- нее	верх- нее	ниж- нее	
					+7	-21			
+16	+5	-15	+7	-21	+9	-27	+9	-27	
+21	+7	-21	+9	-27			+11,5	-34,5	
+16	+5	-15	+7	-21			+9	-27	
+21	+7	-21	+9	-27	+11,5	-34,5	+11,5	-34,5	
					+9	-27			
+25,5	+9	-27	+11,5	-34,5	+11,5	-34,5	+15	-45	

Предельные отклонения
(по ГОСТ

Шаг S в мм	Интервалы диаметров резьбы d в мм	Гладкие									
		ПР									
		Степени точности									
		5			6						
		Новые		Изно- шен- ные	Новые						
верх- нее	ниж- нее	верх- нее	ниж- нее								
0,20	От 1 до 1,4	+13	+5	0	+13	+5					
	Св. 1,4 до 2,8										
0,25	От 1 до 2,8										
0,30	От 1 до 1,4										
0,35	Св. 1,4 до 2,8										
	Св. 2,8 до 5,6										
	0,40						Св. 1,4 до 2,8				
0,45	Св. 1,4 до 2,8										
0,50	Св. 2,8 до 5,6						+27	+17	0	+27	+17
	Св. 5,6 до 22,4										
0,60	Св. 2,8 до 5,6										
0,70	Св. 2,8 до 5,6										
0,75	Св. 2,8 до 5,6										
	Св. 5,6 до 11,2										
	Св. 11,2 до 45,0										
0,80	Св. 2,8 до 5,6										
					+46	+30					

ТАБЛИЦА 2.38

гладких калибров в мкм
18107—72)

пробки									
					НЕ				
внутреннего диаметра гайки									
Изно- шен- ные	7			5		6		7	
	Новые		Изно- шен- ные	верх- нее	ниж- нее	верх- нее	ниж- нее	верх- нее	ниж- нее
	верх- нее	ниж- нее							
0	—	—	—	+4	—4	+4	—4	—	—
0						+5	—5		
	+46	+30	0	+5	—5			+8	—8
0						+8	—8		

Шаг S в мм	Интервалы диаметров резьбы d в мм	Гладкие					
		ПР					
		Степени точности					
		4			6		
		Новые		Изно- шен- ные	Новые		
верх- нее	ниж- нее	верх- нее	ниж- нее				
0,20	От 1 до 1,4	—4	—12	0	—4	—12	
	Св. 1,4 до 2,8						
0,25	От 1 до 2,8						
0,30	От 1 до 1,4						
0,35	Св. 1,4 до 2,8						
	Св. 2,8 до 5,6						
0,40	Св. 1,4 до 2,8						
0,45	Св. 1,4 до 2,8						
0,50	Св. 2,8 до 5,6						
	Св. 5,6 до 22,4						
0,60	Св. 2,8 до 5,6						
0,70	Св. 2,8 до 5,6				—15	—25	0
0,75	Св. 2,8 до 5,6						
	Св. 5,6 до 11,2						
	Св. 11,2 до 45,0						
0,80	Св. 2,8 до 5,6				—30	—46	

Продолжение табл. 2.38

скобы									
					НЕ				
наружного диаметра болта									
8				4		6		8	
Изно- шен- ные	Новые		Изно- шен- ные	верх- нее	ниж- нее	верх- нее	ниж- нее	верх- нее	ниж- нее
	верх- нее	ниж- нее							
0	—	—	—	+ 4	— 4	+ 4	— 4	—	—
0	—	—	—						
0	—	—	—						
0	—30	—46	0	+ 5	— 5	+ 8	— 8	+ 8	— 8

Шаг S в мм	Интервалы диаметров резьбы d в мм	Гладкие					
		ПР					
		Степени точности					
		4			6		
		Новые		Изно- шен- ные	Новые		
верх- нее	ниж- нее	верх- нее	ниж- нее				
1,00	Св. 5,6 до 22,4	-15	-25	0	-30	-46	
	Св. 22,4 до 45						
	Св. 45 до 90						
1,25	Св. 5,6 до 11,2	-30	-46	0			
	Св. 11,2 до 22,4						
1,50	Св. 5,6 до 45						
	Св. 45 до 90						
	Св. 90 до 180						
1,75	Св. 11,2 до 22,4						
2,00	Св. 11,2 до 22,4						
	Св. 22,4 до 180						
2,50	Св. 11,2 до 22,4						
3,00	Св. 22,4 до 45						
	Св. 45 до 180						
3,50	Св. 22,4 до 45						
4,00	Св. 22,4 до 90						
	Св. 90 до 180						

Продолжение табл. 2.38

скобы										
					Н Е					
наружного диаметра болта										
		8			4		6		8	
Изно- шен- ные	Новые		Изно- шен- ные	верх- нее	ниж- нее	верх- нее	ниж- нее	верх- нее	ниж- нее	
	верх- нее	ниж- нее								
0	-30	-46,	0	+5	-5			+8	-8	
						+8	-8			
	-39	-69	0	+8	-8			+15	-15	
0						+15	-15			

ТАБЛИЦА 2.39

Допуски шага резьбы
(по ГОСТ 18107—72)

Длина резьбы калибра в мм	Допускаемые отклонения по шагу резь- бы рабочих и контрольных калибров в мкм	Длина резьбы калибра в мм	Допускаемые отклонения по шагу резь- бы рабочих и контрольных калибров в мкм
До 12	± 4	Св. 50 до 80	± 7
Св. 12 до 32	± 5	» 80 » 125	± 8
» 32 » 50	± 6	» 125 » 200	± 10
<p align="center">Примечание. Допускаемые отклонения по шагу относятся к расстояниям между любыми витками резьбы калибра.</p>			

ТАБЛИЦА 2.40

Допуски половины угла профиля резьбы
(по ГОСТ 18107—72)

Профиль калибров	Шаг резьбы в мм							
	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,6
	Допускаемое отклонение половины угла профиля в мин \pm							
Полный	60	48	40	35	31	26	25	21
Укорочен- ный	60	48	40	35	31	26	25	21

Продолжение табл. 2.40

Профиль калибров	Шаг резьбы в мм										
	0,7	0,75	0,8	1	1,25	1,5	1,75	2; 2,5	3	3,5	4
	Допускаемое отклонение половины угла профиля в мин \pm										
Полный	18	17	16	15	13	12	11	10	9	9	8
Укорочен- ный	18	17	16	16	16	16	16	14	13	12	11

ТАБЛИЦА 2.41

Шероховатость калибров

Наименование поверхностей		Класс чистоты по ГОСТ 2789—59, не ниже
Поверхности боковых сторон профиля резьбы	Контркалибров	10
	Калибров	9
Поверхность по наружному диаметру профиля резьбы	Калибров-пробок с полным профилем	8
	Калибров-пробок с укороченным профилем	
Поверхность по внутреннему диаметру профиля резьбы	Кольцо ПР, НЕ	
Поверхность конуса 1 : 50	Хвостовиков вставок	7
	Ручек к ним	6

Не допускаются дефекты:

- а) на боковых сторонах профиля резьбы калибров;
- б) на поверхностях по наружному диаметру резьбы калибров-пробок;
- в) на поверхностях по внутреннему диаметру резьбы калибров-колец.

На остальных поверхностях калибров не должно быть дефектов, ухудшающих внешний вид или влияющих на эксплуатационные качества калибра.

Предприятие-изготовитель обязано в течение 12 мес. со дня отгрузки потребителю безвозмездно заменять или ремонтировать калибры, если в течение указанного срока потребителем будет обнаружено несоответствие требованиям настоящего стандарта, при условии соблюдения потребителем правил их хранения.

На каждом калибре должны быть нанесены: обозначение резьбы, поле допуска резьбы, обозначение назначения калибра, товарный знак предприятия-изготовителя (на калибрах, используемых для собственных нужд предприятия-изготовителя, товарный знак может не наноситься), на калибре с левой резьбой — слово «лев.».

У пробок (при диаметре резьбы до 100 мм) с ручками маркировка может быть нанесена на ручке.

На вставках с хвостовиками и насадках должны быть нанесены: обозначение резьбы, поле допуска резьбы, обозначение назначения

и т. д. У вставок при резьбе диаметром менее 14 мм маркировка может быть нанесена на конусной поверхности хвостовика, у остальных вставок — на переднем торце.

Перед упаковкой калибры должны пройти консервацию по ГОСТ 13168—69 и быть обернуты в парафинированную бумагу по ГОСТ 9569—65 и уложены в коробки.

Упакованные калибры должны храниться в вентилируемом помещении при температуре от 10 до 35° С. В воздухе не должно быть присутствия паров кислот и щелочей. Относительная влажность воздуха — не более 80%.

7. КОНТРОЛЬ ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Типы калибров для контроля формы поверхностей

Действительные отклонения формы поверхностей в большинстве случаев проверяются измерением на универсальных или специально предназначенных приборах (глава девятая).

Если необходимо проверить соблюдение условия, при котором отклонения формы находятся в пределах поля допуска размера (глава первая, п. 11), то для этого следует применить предельные гладкие калибры, проходная сторона которых имеет протяженность не меньшую, чем длина или ширина сопряжения деталей, а непроходная позволяет

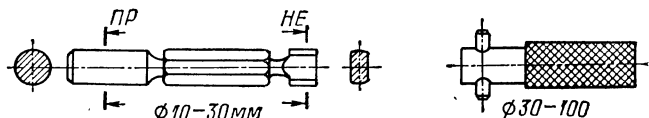


Рис. 2.28

проверить размер в отдельных сечениях (точках). На рис. 2.28 приведены конструкции подобных калибров для отверстий диаметром до 100 мм. Для проверки размеров отверстий больших, чем 60 мм, применяют одно-предельные калибры: пробки (цельные или трубчатые) для проходной стороны и штихмасы и нутромеры — для непроходной (глава вторая, п. 1). Для контроля валов можно применять проходные калибры-кольца (или калибры-втулки) и непроходные скобы (глава вторая, п. 1).

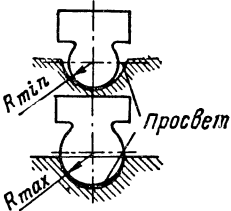
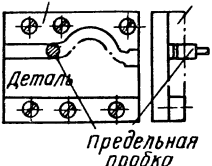
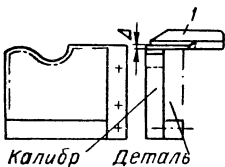
Для контроля прямолинейности оси глубоких отверстий целесообразно использовать однопредельные удлинненные цилиндрические пробки (рис. 2.29), номинальный диаметр которых d_n уменьшен против размера износа $A_{\text{наим}}$ проходной стороны пробки Р-ПР (глава вторая, п. 1) на величину изогнутости оси Δ отверстия

$$d_n = A_{\text{наим}} - \Delta.$$

Длина L_k калибра d_n не должна быть меньше длины сопряжения или длины L отверстия детали. Предельные размеры отверстия предварительно контролируются гладкими пробками Р-ПР и Р-НЕ, имеющими стандартную длину измерительных поверхностей.

ТАБЛИЦА 2.42

Предельная проверка профилей изделий

Схема проверки	Способ проверки	Область и характеристика применения
<p><i>Тип I</i></p> 	<p>По световой щели (два калибра)</p>	<p>При удобном для рассмотрения расположении щели и допусках формы Δ не менее 0,16 мм. Для контроля профилей разнообразной формы может применяться вспомогательная линейка. Сложный профиль проверяется по участкам отдельными калибрами. Оценка — по расположению просвета (табл. 2.43)</p>
<p><i>Тип II</i></p> 	<p>Для криволинейных поверхностей предельными пробками (диаметром 3—5 мм); для прямолинейных профилей — предельными вкладышами или щупами</p>	<p>При плавных профилях детали без резких переходов. Допуск Δ от 0,01 мм и более. Зазор между профилями калибра и детали равняется номиналу пробки или вкладыша плюс допуск Δ. Если допуск Δ не одинаков по участкам профиля, то кроме единого проходного калибра применяются разные непроходные пробки или вкладыши</p>
<p><i>Тип III</i></p> 	<p>Ступенчатой линейкой I с высотой уступа, равной допуску Δ (табл. 2.44 и рис. 2.31)</p>	<p>Те же условия, что и в предыдущем пункте, но допуск Δ не менее 0,03 мм. При годной детали передняя часть линейки (П?) не должна касаться профиля калибра (образуется зазор), а часть за уступом (НЕ) не должна надвигаться на деталь при контакте передней части линейки с калибром</p>

Калибры для контроля профиля изделий проектируются в виде калибров сравнения (нормальных) и калибров предельных.

Профильные калибры сравнения являются однопредельными и предназначены для несопряженных профилей, выполняемых с большими допусками. К измерительным элементам этих калибров относятся:

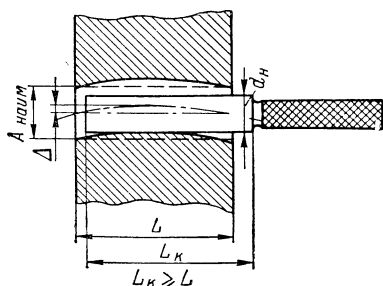


Рис. 2.29

1) световая щель между поверхностями калибра и детали (рис. 2.30, а), по которой можно проверить отклонения не менее ± 20 мкм. Более точная проверка профиля (погрешность которых от ± 3 до ± 5 мкм) осуществляется по краске (толщина слоя 2—3 мкм); применяется для более точных изделий;

2) штриховой контур, нанесенный на плоскость калибра (рис. 2.30, б), позволяет визу-

ально проверить отклонения от ± 50 до ± 150 мкм; применяется для мелких и плоских деталей;

3) кромка калибра, наложенного на плоскую деталь таким образом, чтобы профили детали и калибра находились в двух параллельных пло-

ТАБЛИЦА 2.43

Характер просвета (к табл. 2.42) [5]

Тип предельного калибра	Требования к просвету между калибром и изделием в зависимости от профиля изделия		
	Профили, размеры которых заданы от базовых поверхностей	Профили, представляющие собой дугу окружности с координированным центром	
		выпуклые	вогнутые
Калибр максимума материала	Не допускается просвет по базовым плоскостям	Не допускается просвет по краям	Не допускается просвет по середине
Калибр минимума материала	Должен быть просвет по базовым плоскостям	Не допускается просвет по середине	Не допускается просвет по краям

скостях (рис. 2.30, в); применяется для грубых профилей с отклонениями от ± 200 мкм и более.

Мелкие и плоские детали целесообразно проверять проекционными приборами (глава четвертая, п. 7) путем сравнения с чертежом при увеличении в 20—200 раз; отклонения проверяемого профиля не менее ± 5 мкм.

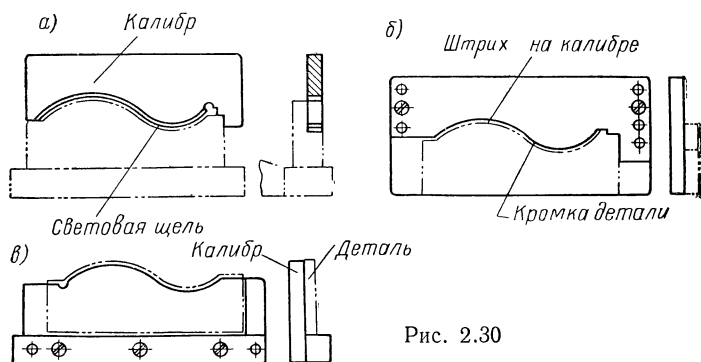


Рис. 2.30

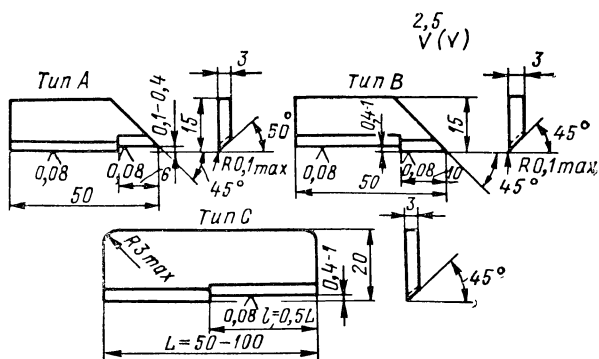


Рис. 2.31

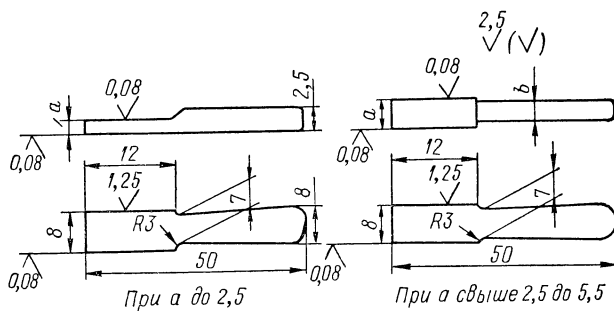


Рис. 2.32

Профильные предельные калибры позволяют объективно оценить годность изделия. Методы предельной проверки профилей приведены в табл. 2.42.

Конструкция ступенчатых линейек типов А, В, С показана на рис. 2.31. Вкладыши (табл. 2.42, тип II) имеют следующие размеры b при a св. 2,5 мм (рис. 2.32)

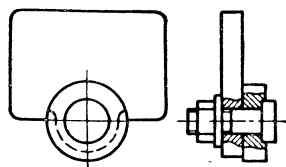


Рис. 2.33

a в мм	b в мм
Св. 2,5 до 3,5	2
» 3,5 » 4,5	3
» 4,5 » 5	4

Составные профильные калибры (рис. 2.33) имеют известные преимущества по сравнению с цельными [4].

Допуски профильных калибров

Допуски профильных калибров могут быть направлены в «тело» калибра. Номинальный профиль калибра тогда совпадает с предельным контуром максимума материала детали. Допуски профильных контркалибров располагаются симметрично номинальным размерам, также совпадающим с контуром максимума материала детали (глава первая, п. 1, стр. 17).

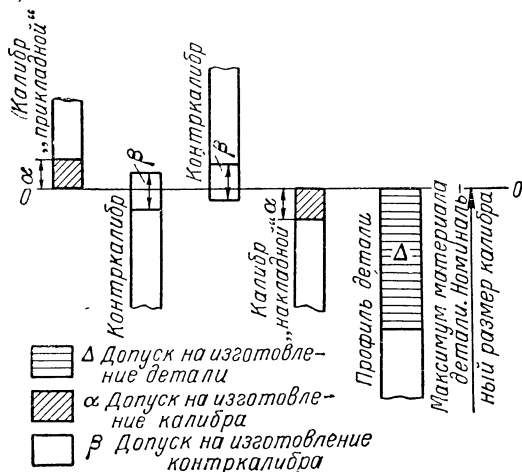


Рис. 2.34

Схемы расположения полей допусков калибров и контркалибров предназначены для двух типовых способов контроля (рис. 2.34):

а) калибр «прикладной», т. е. проверяемое сечение детали и профиль калибра находятся в одной плоскости (табл. 2.42, тип I и II);

б) калибр «накладной», т. е. проверяемое сечение детали и профиль калибра находятся в двух параллельных плоскостях (табл. 2.42, тип III).

Для размеров уступов детали направление допуска калибра также откладывается «в тело» со знаком отклонения в зависимости от технологической базы калибра (например, размеры 3,84 и 1,88 мм на рис. 2.35).

Размеры минимума материала детали (глава первая, п. 1) контролируются по отдельным сечениям щупами, вкладышами и пробками, и отклонения на неточность изготовления последних располагаются симметрично относительно контура минимума материала детали независимо от типа калибра.

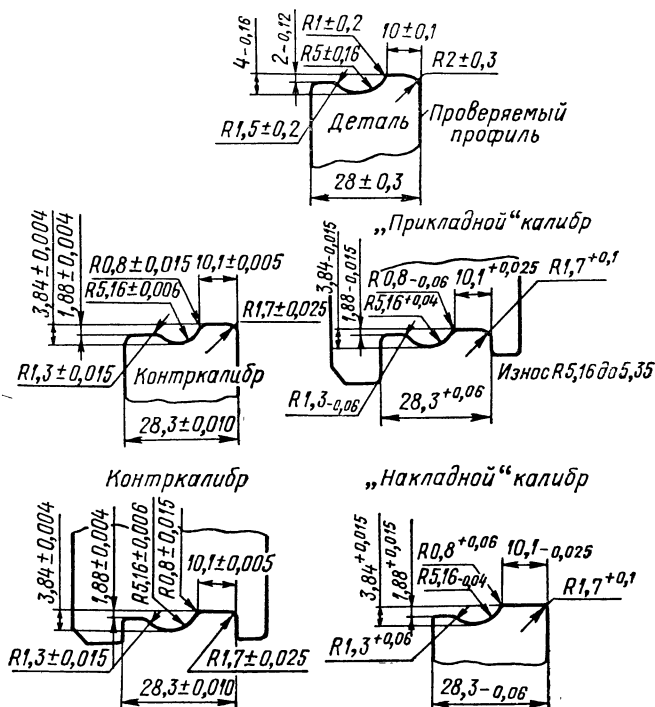


Рис. 2.35

Допуски калибров, приведенные в табл. 2.44, относятся к линейным размерам и радиусам, являющимся элементами основного контура детали. Допуски одинаковы для контркалибров максимума и минимума материала по величине и расположению.

Допуски на износ устанавливаются только на размеры изнашиваемых участков калибров, пробок и вкладышей и откладываются в сторону, противоположную направлению износа.

Для угловых размеров профильных калибров рекомендуется применять 10% от допуска детали, но не менее $\pm 2'$, а для контркалибров $\pm 25\%$ от допусков калибров, но не менее $\pm 1'$. Их следует назначать по ГОСТ 8908—58 в соответствии с [5].

Для радиусов скруглений калибров допуски (табл. 2.45) направляются в минус для внутренних и в плюс для наружных углов профильных калибров.

Допуски на уступы калибров-линеек (рис. 2.31) и на размеры калибров-пробок, вкладышей и щупов (рис. 2.32) могут быть взяты равными 2 мкм для допусков деталей до 0,16 мм и 6 мкм — для допусков больших, чем 0,16 мм. Отклонения располагаются симметрично относительно

ТАБЛИЦА 2.44

Допуски профильных калибров в мм

Допуск калибров	Допуск детали Δ						
	до 0,06	св. 0,06 до 0,10	св. 0,10 до 0,18	св. 0,18 до 0,30	св. 0,30 до 0,50	св. 0,50 до 0,80	св. 0,80 до 1,2
На неточность изготовления калибров α	0,004	0,008	0,015	0,025	0,040	0,060	0,080
На износ (гарантированный) калибров	0,003	0,005	0,010	0,015	0,025	0,040	0,060
На неточность изготовления контркалибров $\pm \frac{\beta}{2}$	0,001	0,002	0,003	0,005	0,006	0,008	0,012

ТАБЛИЦА 2.45

Допуски радиусов скруглений профильных калибров в мм

Допуск изделия Δ	До 0,1	Св. 0,1 до 0,2	Св. 0,2 до 0,4	Св. 0,4
На неточность изготовления калибров α	0,02	0,04	0,06	0,10
На неточность изготовления контркалибров $\pm \frac{\beta}{2}$	0,005	0,01	0,015	0,025

номинального размера проходной или непроходной стороны этих калибров. Допуски на износ этих калибров также берутся равными 2 и 4 мкм соответственно.

На рис. 2.35 приведен пример «прикладного» и «накладного» калибров и контркалибров для контроля по максимуму материала одного и того же профиля детали. Исполнительные размеры калибров, проверя-

ющих минимум материала данной детали по отдельным участкам ее профиля (на рис. 2.35 не изображены), приводятся ниже.

Номинальные размеры и допуски Δ детали в мм	$28 \pm 0,3$	$2_{-0,12}^{+0,16}$	$5_{-0,16}^{+0,16}$
Номинальные размеры минимума материала детали в мм	27,7	2	5
Исполнительные размеры непроходного калибра в мм	$27,7 \pm 0,03$	$2 \pm 0,008$	$5 \pm 0,008$

Схема расположения полей допусков профильных нормальных калибров (расположены симметрично номинальному профилю) и обобщенная схема расположения допусков предельных профильных калибров (расположены симметрично границам поля Δ), а также величины отклонений и допусков калибров и контркалибров, применительно к этим схемам, имеются в [5].

Типы калибров для контроля расположения поверхностей изделий

По преимуществу, как указано в главе первой, п. 11, измеряются независимые отклонения; отклонения зависимые обычно контролируются калибрами. Разностные отклонения, как правило, измеряются.

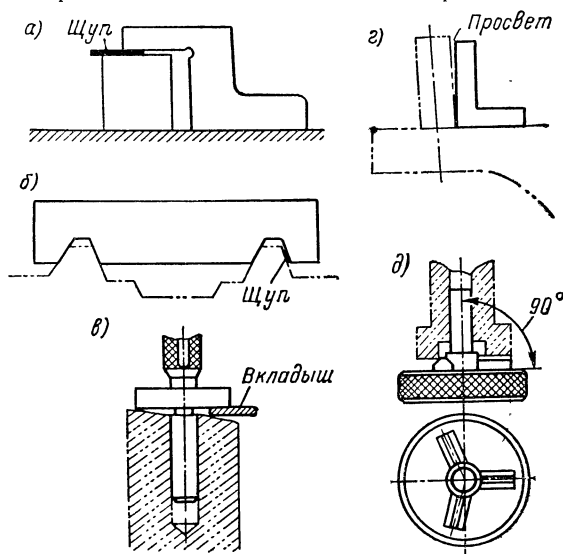


Рис. 2.36

На рис. 2.36, а, б изображены типы калибров для контроля параллельности плоскостей, а на рис. 2.36, в, г, д — для контроля перпендикулярности осей отверстий и цапф по отношению к плоскости. Калибры

обычно являются однопредельными. Проверяется, не превзошло ли действительное отклонение заданный зависимый допуск расположения Δ . Годность изделия гарантируется тем, что калибр входит в деталь (рис. 2.36, δ).

С помощью вкладышей или по просвету можно также определить примерную величину действительного отклонения.

Однопредельные калибры расположения обычно называются комплексными и являются проходящими. Наиболее распространены на предприятиях комплексные калибры соосности, симметричности, входи-

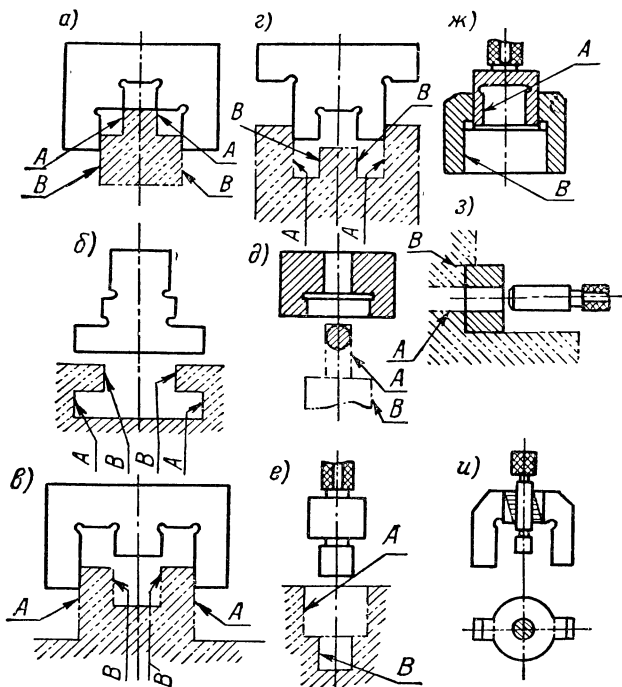


Рис. 2.37

мости, шлицевые, шпоночные (глава вторая, п. 4) и для контроля расположения осей отверстий.

Листовые комплексные калибры, контролирующие несимметричность (рис. 2.37, a, b, e, g) внутренних и наружных поверхностей или их сочетания, не учитывают отклонения от прямолинейности поверхности детали в направлении, перпендикулярном к чертежу. Другие типы подобных калибров (например, составной калибр, рис. 2.37, u), а также цельные и составные калибры, контролирующие несоосность (рис. 2.37, $d, e, ж, з$), охватывают почти всю ширину поверхностей детали (простран-

ственные калибры). Листовые калибры проектируются шириной, составляющей 10—20%, а пространственные — 60—100% от длины сопряжения.

Составной калибр (рис. 2.38) имеет такое же назначение, что и калибр типа, показанного на рис. 2.37, *и*, но допуск отверстия детали *1* мало влияет на результаты контроля, т. е. контроль приближается к применяемому для независимых допусков Δ . Это достигается центрированием по отверстию конуса прошивной пробки 5. Калибр-кольцо 2 (или вилка для плоских поверхностей) надвигается на деталь при определенном измерительном усилии (пружина 4). Упорная вилка 3, впрыснутая в калибр-кольцо 2, ограничивает перемещение калибра.

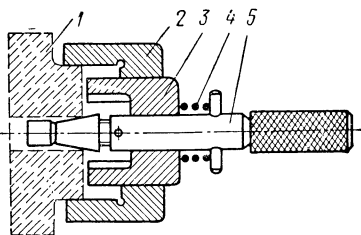


Рис. 2.38

Комплексные калибры для контроля расположения паза вала и втулки под шпонку относительно цилиндра приводятся на рис. 2.39; типа I для валов диаметром от 7 до 30 мм и типа II для валов диаметром св. 30 до 80 мм. Номинальный размер b_1 калибра равен $b - 2\Delta$, где b — наименьшая допустимая ширина шпоночного паза. Ширина t калибра берется 10—14 мм для типа I и св. 14 до 20 мм — для типа II.

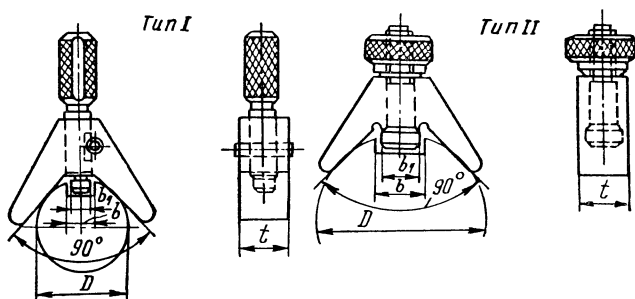


Рис. 2.39

Для контроля расстояния L между осями отверстий или цапф (или осью и плоскостью) иногда применяют вместо комплексных двухпредельные осевые калибры (рис. 2.40), т. е. обычные предельные калибры (глава вторая, п. 1). Годность детали определяется по наибольшему или по кратчайшему расстоянию B между окружностями отверстий или же окружностью отверстий и плоскостью детали.

При этом при контроле по кратчайшему расстоянию B между окружностями двух отверстий номинал непроходного калибра

$$B_{\min} = B_{HE} = L - \Delta - \left(\frac{D_1 + \delta_1}{2} + \frac{D_2 + \delta_2}{2} \right).$$

Аналогично номинал проходного калибра

$$B_{\max} = B_{\text{ПР}} = L + \Delta - \frac{D_1 + D_2}{2},$$

где D_1 и D_2 — наименьшие предельные диаметры отверстий; δ_1 и δ_2 — допуски на эти диаметры.

Подобный контроль неизбежно вызывает погрешность из-за влияния действительных размеров и реальной формы отверстий. Во избежание приемки бракованных деталей следует:

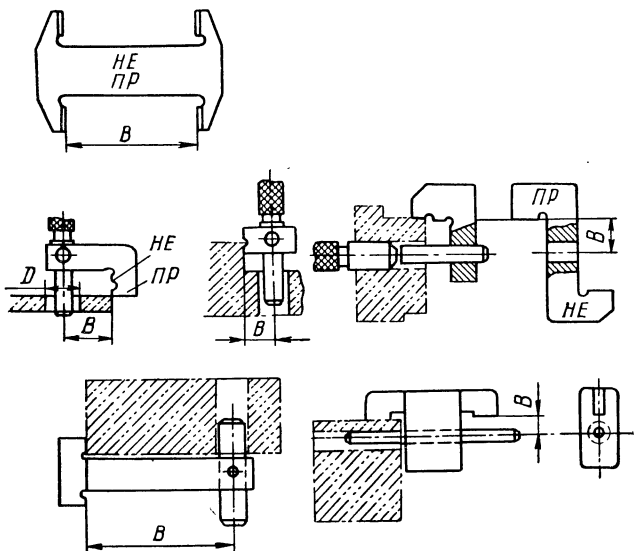


Рис. 2.40

а) при отклонении в расположении $\pm \Delta$ (на расстояние L), значительно превышающем δA отверстий, увеличивать номинал $B_{\text{НЕ}}$ калибра на одну треть от суммы допусков обоих отверстий;

б) при иных соотношениях между допусками 2Δ и δA увеличивать номинал $B_{\text{НЕ}}$ на полусумму допусков δA .

Вследствие подобного увеличения номинала $B_{\text{НЕ}}$ могут в некоторых случаях оказаться забракованными годные по размерам детали.

Контроль комплексным осевым калибром не дает этих погрешностей. Конструкции комплексных калибров отличаются от изображенных на рис. 2.40 отсутствием второго предела, т. е. ступеньки на измерительной поверхности или двойного штифта и т. п. Другие типы подобных комплексных калибров приводятся: на рис. 2.41, а, в — при различном расположении осей отверстий; на рис. 2.41, б — при наличии выступов, мешающих подводу калибра; на рис. 2.41, г, д, е — при применении вкладышей 1 и 2 и пробок; на рис. 2.41, ж — если расстояние L велико;

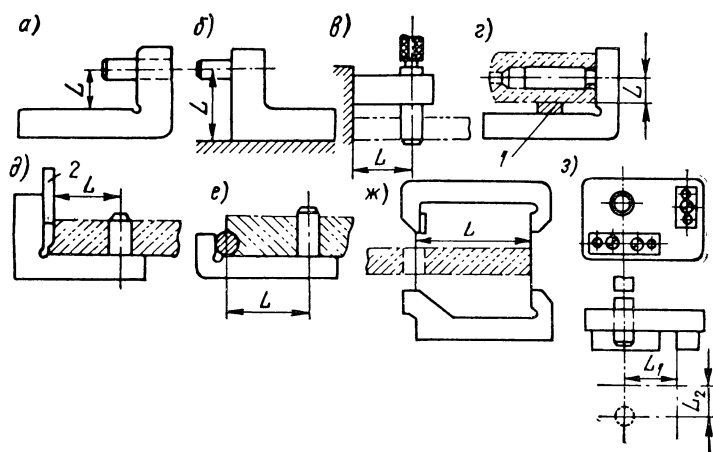


Рис. 2.41

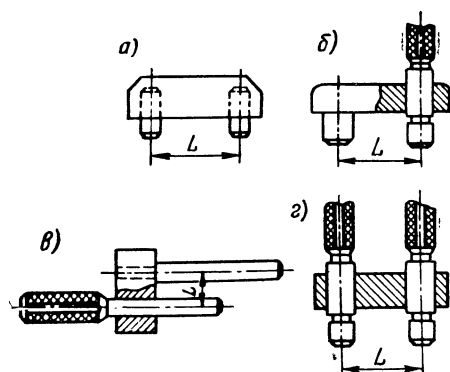


Рис. 2.42

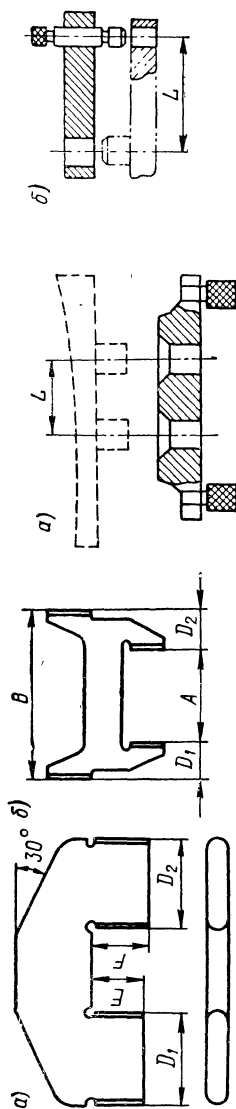
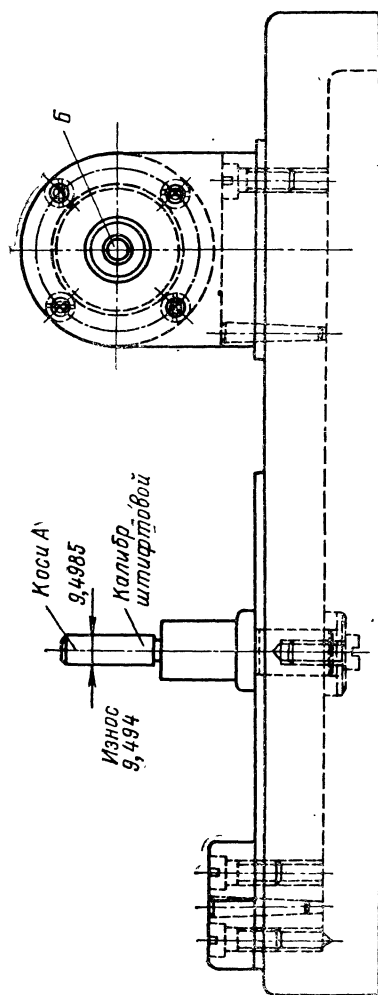


Рис. 2.43

Рис. 2.44



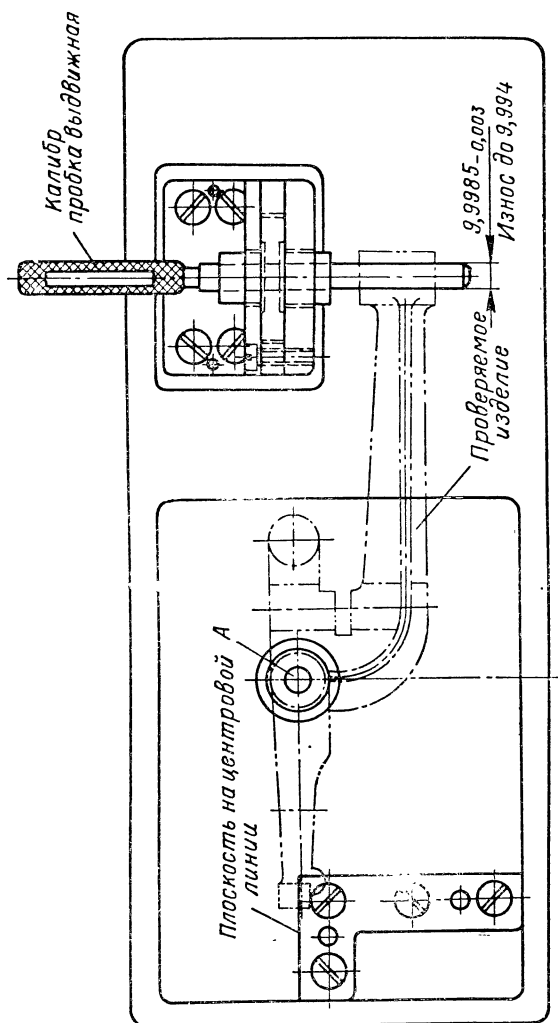


Рис. 2.45

на рис. 2.41, з — для контроля одновременно от двух базовых плоскостей (по размерам L_1 и L_2).

Комплексные осевые калибры для проверки расстояний L между осями двух отверстий могут проектироваться цельными (рис. 2.42, а) или составными (рис. 2.42, б, в, г), которые целесообразно применять для глубоких отверстий или лежащих на различной высоте. В последних типах калибров одна или обе пробки являются выдвижными («прошивными»).

Для отверстий диаметром более 60 мм целесообразно применять листовые калибры (рис. 2.43). Цилиндрические цапфы заменены пло-

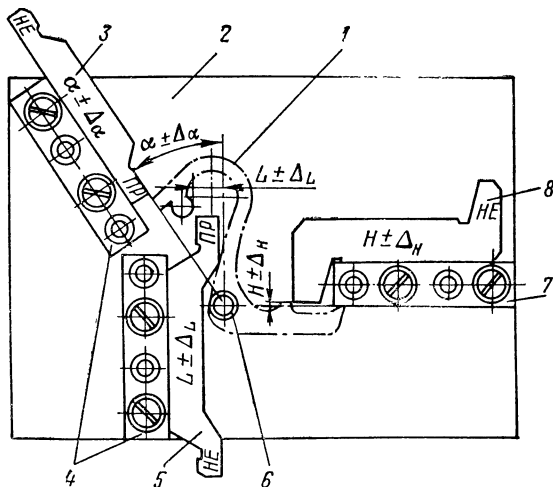


Рис. 2.46

сками губками D_1 и D_2 , закругленными по радиусу. Высота (F) у одной из губок больше, чем у другой (E), для лучшего направления калибра в процессе контроля (рис. 2.43, а); калибр на рис. 2.43, б двусторонний. Формулы для расчета размеров A и B калибра приведены в табл. 2.50.

На рис. 2.44, а изображен комплексный калибр, контролирующий расстояние L между двумя цапфами детали, а на рис. 2.44, б — калибр, контролирующий расстояние между цапфой и отверстием.

Чертеж сложного комплексного калибра для проверки допуска Δ взаимного расположения осей отверстий A и B в пространстве приведен на рис. 2.45.

На рис. 2.46 приведен пример щупового калибра, проверяющего сложную деталь 1. На корпусе калибра 2 укреплены упоры 4 для предельных щупов 3 и 5, упор 7 для детали и предельного щупа 8, а также базовый штифт 6.

Методика расчета подобных калибров, включая универсально сборные, приведена в работе [2].

Допуски и расчет предельных размеров калибров для контроля расположения поверхностей

В практике нашли применение системы двухэтапного и одноэтапного контроля с помощью комплексных калибров. При двухэтапном контроле многоступенчатой детали (или собранного узла) вначале проверяют координацию двух поверхностей (например, соосность ступеней), а затем общим калибром (на входимость) контролируют правильность расположения всех взаимно координируемых поверхностей. Иногда листовым калибром на первом этапе контролируют координацию двух ступеней детали в поперечных сечениях, а затем на втором этапе пространственным калибром проверяют деталь по всей ширине ступеней. Наконец, двухэтапный контроль может потребоваться в связи с необходимостью согласования пооперационного контроля с окончательным (приемочным).

Ниже излагается порядок расчета размеров комплексных калибров для одноэтапной, наиболее распространенной системы контроля (по ГОСТ 16085—70).

ТАБЛИЦА 2.46

Отклонения и допуски в мкм измерительных элементов калибров
для контроля расположения поверхностей
(по ГОСТ 16085—70)

Предельное смещение оси контролируемой поверхности изделия от номинального расположения Δ			Основное отклонение F	Допуск на изготовление δ_k	Допуск на износ δ_i	Предельное смещение оси измерительного элемента калибра от номинального расположения Δ_k
От	10	до 16	9	3	4	2
Св.	16	» 25	12	4	5	3
»	25	» 40	15	5	6	4
»	40	» 60	20	6	8	6
»	60	» 100	26	8	10	8
»	100	» 160	32	10	12	10
»	160	» 250	52	12	16	12
»	250	» 400	68	16	20	16
»	400	» 600	85	20	25	20
»	600	» 1000	105	25	30	25
»	1000	» 1600	130	30	40	30
»	1600	» 2500	170	40	50	40
»	2500		210	50	60	50

Допуски расположения измерительных элементов калибров (контрольных пробок и контрольных отверстий) назначаются независимыми.

Отклонения и допуски для каждого измерительного элемента калибра (контрольной пробки или контрольного отверстия) выбираются по табл. 2.46 в зависимости от предельного смещения Δ оси или плоскости симметрии поверхности изделия, контролируемой данным измерительным элементом.

Если на чертеже изделия заданы предельные отклонения размеров, координирующих оси поверхностей, или предельная несоосность и несимметричность, то эти отклонения следует пересчитать на предельное смещение осей от номинального расположения Δ по формулам, приведенным в табл. 2.47 и 2.48.

Расположение полей допусков на изготовление, износ и расположение калибров без базовых измерительных элементов приведены на рис. 2.47, а и с базовыми измерительными элементами — на рис. 2.47, б.

Предельные размеры измерительных элементов калибров определяются по формулам, приведенным в табл. 2.49, в которой обозначены размеры предельно изношенных измерительного элемента — $d_{к\text{ изн}}$, базового измерительного элемента калибра — $d_{к_0\text{ изн}}$.

Допуски на изготовление и износ базового измерительного элемента калибра ($\delta_{к_0}$ и $\delta_{и_0}$) принимаются равными наименьшим допускам для остальных измерительных элементов калибра, т. е. $\delta_{к_0} = \delta_{к\text{ наим}}$; $\delta_{и_0} = \delta_{и\text{ наим}}$.

Допуски расположения измерительных элементов калибров для контроля смещения осей от номинального расположения, как правило, указываются предельным смещением осей измерительных элементов от номинального расположения. В обоснованных случаях допускается указывать предельные отклонения размеров, координирующих оси измерительных элементов калибров, которые назначаются по табл. 1.104 и 1.105 в зависимости от Δ_k и характера расположения измерительных элементов.

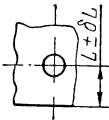
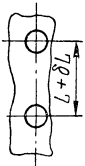
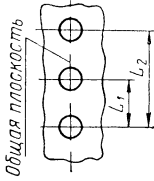
Допуски расположения каждого измерительного элемента калибров для контроля несоосности указываются в виде их предельной несоосности (несимметричности) относительно базового (равны значениям Δ_k , приведенным в табл. 2.46) или относительно общей оси двух крайних разнесенных элементов (равны Δ_k , если элементов больше двух и ни один из них не является базовым).

Для калибров с вписанным или смежным расположением двух измерительных элементов, если ни один из них не является базовым, предельная взаимная несоосность равна сумме величин Δ_k для обоих измерительных элементов, т. е. $\Delta_{k_1} + \Delta_{k_2}$.

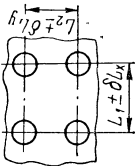
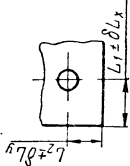
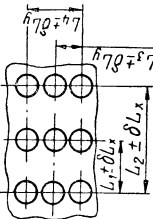
В случае, когда для изделия задан зависимый допуск расположения, равный нулю, или допуск совмещенного контроля (отклонения расположения допускаются лишь за счет недоиспользования допусков на размеры поверхностей), для измерительных элементов калибра следует принимать: исполнительные размеры и допуски на изготовление δ_k равными размерам и допускам нового проходного калибра ПР (глава вторая, пп. 1 и 6); допуск на износ $\delta_{и}$ — равным 70% гарантированного износа калибра ПР; допуск расположения Δ_k — равным 35% гарантированного износа калибра ПР, но не менее 2 мкм.

ТАБЛИЦА 2.47

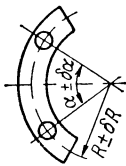
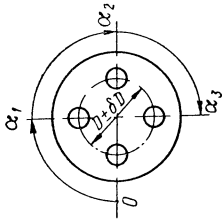
Формулы для определения предельного смещения осей от номинального расположения по заданным предельным отклонениям размеров, координирующих оси

Характер расположения поверхностей	Эскиз	Формулы для определения предельного смещения осей изделия от номинального расположения Δ
1. Одна поверхность, координируемая относительно плоскости		$\Delta = \delta L$
2. Две поверхности, координируемые относительно друг друга		$\Delta = 0,5\delta L$
3. Несколько поверхностей, расположенных в один ряд и координируемых относительно друг друга: а) заданы: предельные отклонения размеров между любыми осями ($\pm \delta L$); смещение осей от общей плоскости ($\pm 0,5\delta L$); б) заданы: предельные отклонения размеров от базовой оси или плоскости до каждой оси ($\pm \delta L$); смещение осей от общей плоскости ($\pm \delta L$)	 <i>Общая плоскость</i>	а) $\Delta = 0,7\delta L$ б) $\Delta = 1,4\delta L$

Продолжение табл. 2.47

Характер расположения поверхностей	Эскиз	Формулы для определения предельного смещения осей изделия от номинального расположения Δ
4. Три или четыре поверхности, расположенные в два ряда		$\Delta = 0,5 \sqrt{\delta L_x^2 + \delta L_y^2}$ <p>при $\delta L_x = \delta L_y = \delta L$ $\Delta = 0,7\delta L$</p>
5. Одна поверхность, координированная относительно двух взаимно перпендикулярных плоскостей		$\Delta = \sqrt{\delta L_x^2 + \delta L_y^2}$ <p>при $\delta L_x = \delta L_y = \delta L$ $\Delta = 1,4\delta L$</p>
6. Поверхности, расположенные в нескольких рядах		$\Delta = \sqrt{\delta L_x^2 + \delta L_y^2}$ <p>при $\delta L_x = \delta L_y = \delta L$ $\Delta = 1,4\delta L$</p>

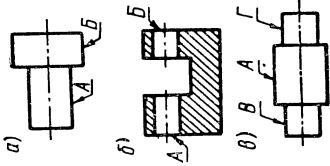
Продолжение табл. 2.47

Характер расположения поверхностей	Эскиз	Формулы для определения предельного смещения осей изделия от номинального расположения Δ
<p>7. Две поверхности, расположение которых задано в полярных координатах:</p>		$\Delta = \sqrt{\left(\frac{\delta\alpha R}{6880}\right)^2 + (\delta R)^2}$
<p>8. Три или более поверхностей, расположение которых задано в полярных координатах:</p> <p>а) заданы предельные отклонения центрального угла между двумя любыми осями $\pm\delta\alpha$</p> <p>б) заданы предельные отклонения центральных углов между каждой осью и базовой осью (т. е. углов α_1; α_2 и т. д.)</p>		<p>а) $\Delta = \sqrt{\left(\frac{\delta\alpha R}{6880}\right)^2 + (\delta R)^2}$</p> <p>б) $\Delta = \sqrt{\left(\frac{\delta\alpha R}{3440}\right)^2 + (\delta R)^2}$ $\delta R = 0,5\delta D$</p>

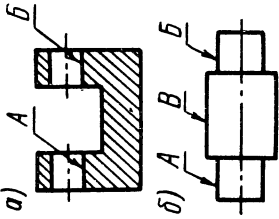
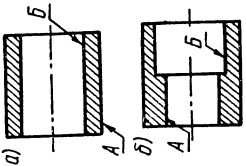
Примечание. В формулах $\delta\alpha$ — в минутах, остальные размеры и отклонения — в миллиметрах.

ТАБЛИЦА 2.48

Формулы для определения предельного смещения осей (плоскостей симметрии) от номинального расположения по заданной предельной несоосности или несимметричности поверхностей

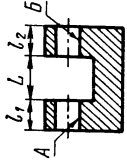
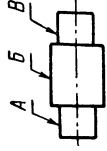
Заданные требования к соосности (симметричности) и характер расположения поверхностей	Эскиз	Формулы для определения предельного смещения осей от номинального расположения Δ
<p>1. Несоосность поверхности B относительно поверхности A (базовой) не более e (эскизы a и b)</p> <p>Несоосность поверхностей B и Γ относительно поверхности A (базовой) не более соответственно e_1 и e_2 (эскиз $в$)</p>		<p>Для базовой поверхности $\Delta_A = 0$</p> <p>Для остальных поверхностей $\Delta_B = e$; $\Delta_B = e_1$; $\Delta_\Gamma = e_2$</p>

Продолжение табл. 2.48

Заданные требования к соосности (симметричности) и характер расположения поверхностей	Эскиз	Формулы для определения предельного смещения осей от номинального расположения Δ
<p>2. Несоосность поверхностей A и B относительно общей оси не более соответственно e_1 и e_2 (эскизы a и b)</p> <p>Несоосность поверхности B относительно общей оси поверхностей A и B не более e_3 (эскиз b)</p>		$\Delta_A = e_1; \Delta_B = e_2; \Delta_B = e_3$
<p>3. Несоосность поверхностей A и B не более e. Базовая поверхность не указана</p> <p>Расположение поверхностей вписанное (эскиз a) или смежное (эскиз b)</p>		$\Delta_A = \Delta_B = \frac{e}{2}$

*

Продолжение табл. 2.48

Заданные требования к соосности (симметричности) и характер расположения поверхностей	Эскиз	Формулы для определения предельного смещения осей от номинального расположения Δ
<p>4. Несоосность поверхностей A и B не более e Базовая поверхность не указана Расположение поверхностей разнесенное ¹</p>		$\Delta_A = e \frac{l_1}{2L + l_1 + l_2}$ $\Delta_B = e \frac{l_2}{2L + l_1 + l_2}$ <p>при $l_1 = l_2 = l$</p> $\Delta_A = \Delta_B = \frac{e}{2 \left(\frac{L}{l} + 1 \right)}$
<p>5. Несоосность поверхностей A и B не более e_{1-2}; несоосность поверхностей A и B не более e_{1-3}; несоосность поверхностей B и B не более e_{2-3} Базовая поверхность не указана ¹</p>		$\Delta_A = \frac{e_{1-2} + e_{1-3}}{2}$ $\Delta_B = \frac{e_{1-2} + e_{2-3}}{2}$ $\Delta_B = \frac{e_{1-3} + e_{2-3}}{2}$

¹ Нереконструируемые способы задания несоосности. В этих случаях следует задавать несоосность поверхностей относительно общей оси.

ТАБЛИЦА 2.49

**Формулы расчета размеров калибров для контроля
расположения поверхностей
(по ГОСТ 16085—70)**

Формулы для расчета размеров измерительных элементов, контролирующих расположение	
отверстий	валов (выступов)
1. Калибры без базовых измерительных элементов	
$d_K \text{ наиб} = d_A - 2\Delta + F$	$d_K \text{ наим} = d_B + 2\Delta - F$
$d_K \text{ наим} = d_K \text{ наиб} - \delta_K$	$d_K \text{ наиб} = d_K \text{ наим} + \delta_K$
$d_K \text{ изн} = d_K \text{ наиб} - \delta_K - \delta_H$	$d_K \text{ изн} = d_K \text{ наим} + \delta_K + \delta_H$
2. Калибры с базовыми измерительными элементами	
а) базовый измерительный элемент	
$d_{K_0} \text{ наиб} = d_{\text{пр. изн}}$	$d_{K_0} \text{ наим} = d_{\text{пр. изн}}$
$d_{K_0} \text{ наим} = d_{\text{пр. изн}} - \delta_{K_0}$	$d_{K_0} \text{ наиб} = d_{\text{пр. изн}} + \delta_{K_0}$
$d_{K_0} \text{ изн} = d_{\text{пр. изн}} - \delta_{K_0} - \delta_{H_0}$	$d_{K_0} \text{ изн} = d_{\text{пр. изн}} + \delta_{K_0} + \delta_{H_0}$
б) остальные измерительные элементы	
$d_K \text{ наиб} = d_A - 2\Delta + F + \delta_{K_0}$	$d_K \text{ наим} = d_B + 2\Delta - F - \delta_{K_0}$
$d_K \text{ наим} = d_K \text{ наиб} - \delta_K$	$d_K \text{ наиб} = d_K \text{ наим} + \delta_K$
$d_K \text{ изн} = d_K \text{ наиб} - \delta_K - \delta_H$	$d_K \text{ изн} = d_K \text{ наим} + \delta_K + \delta_H$

Расстояние между осью отверстия или вала и плоскостью и расстояние между осями двух отверстий или двух валов допускается контролировать комплектом двух проходных калибров, исполнительные размеры которых определяются по формулам, приведенным в табл. 2.50 (пп. 12 и 13 ГОСТ 16085—70).

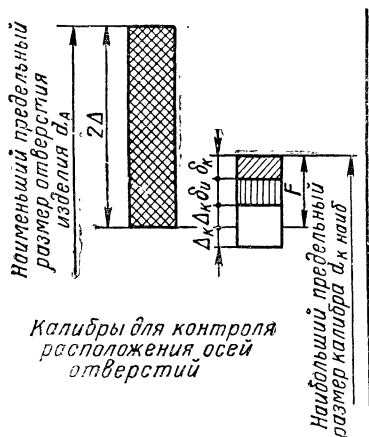
Ниже даны примеры расчета предельных размеров измерительных элементов калибров.

Пример 11. Расчет неразъемного калибра для контроля расположения трех отверстий диаметром $8,5A_5$ в детали, показанной на рис. 2.48. Смещение осей отверстий от номинального расположения не более 0,2 мм, допуск зависимый.

1. Предельные отклонения и допуски диаметра пробок калибра определяем по табл. 2.46 в зависимости от предельного смещения осей изделия $\Delta = 0,2$ мм:

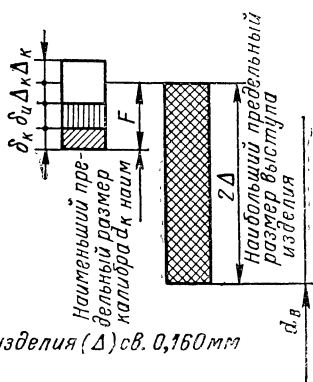
$$F = 0,052 \text{ мм}; \delta_K = 0,012 \text{ мм}; \delta_H = 0,016 \text{ мм}.$$

а) Предельное смещение осей изделия (Δ) до 0,160 мм

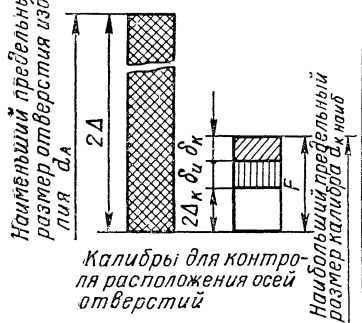


Калибры для контроля
расположения осей
отверстий

Калибры для контроля
расположения осей валов
(выступов)

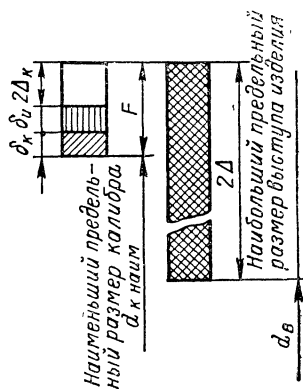






Предельное смещение осей изделия (Δ) св. 0,160 мм



Калибры для контроля
расположения осей
отверстий

Калибры для контроля
расположения осей
валов (выступов)



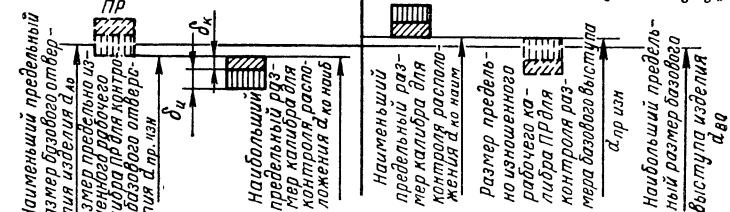
-  Поле допуска на изготовление измерительного элемента калибра
-  Поле допуска на износ измерительного элемента калибра
-  Поле допуска расположения оси измерительного элемента калибра
-  Поле допуска расположения оси контролируемой поверхности изделия

б)

Для базового измерительного элемента

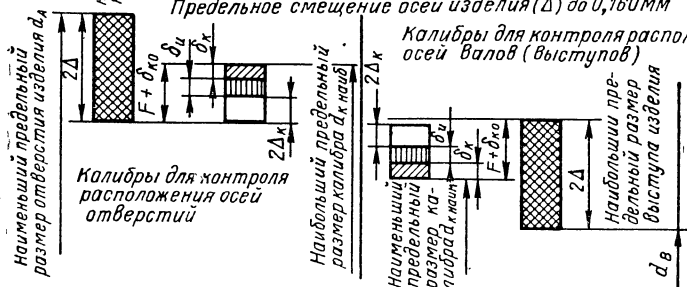
При базировании по отверстию

При базировании по валу (выступу)



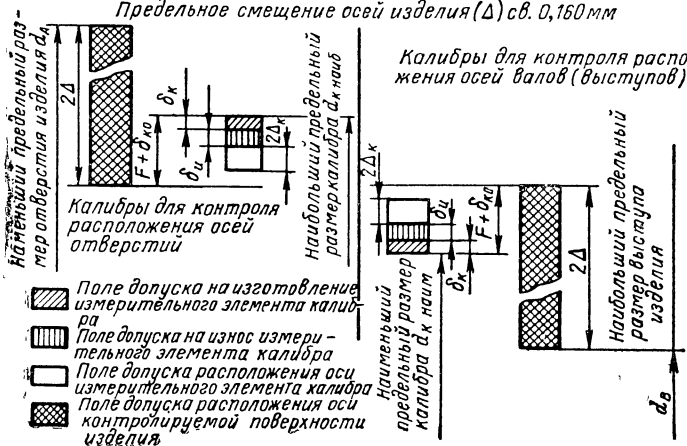
Для остальных измерительных элементов
Предельное смещение осей изделия (Δ) до 0,160 мм

Калибры для контроля расположения осей валов (выступов)



Предельное смещение осей изделия (Δ) св. 0,160 мм

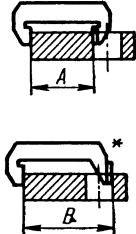
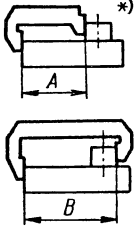
Калибры для контроля расположения осей валов (выступов)



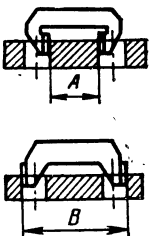
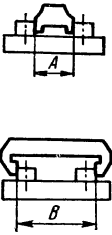
- Поле допуска на изготовление измерительного элемента калибра
- Поле допуска на износ измерительного элемента калибра
- Поле допуска расположения оси измерительного элемента калибра
- Поле допуска расположения оси контролируемой поверхности изделия

ТАБЛИЦА 2.50

Комплекты калибров для контроля расстояния
между осью и плоскостью или между двумя осями

Контролируемый размер	Эскиз калибра	Формулы для расчета предельных размеров калибров
<p>1. Расстояние между осью отвер- стия и плоскостью</p>		$A_{\text{наим}} = L - \frac{d_A}{2} + \Delta - \frac{F}{2}$ $A_{\text{наиб}} = L - \frac{d_A}{2} + \Delta - \frac{\delta_n}{2}$ $A_{\text{изн}} = L - \frac{d_A}{2} + \Delta$ $B_{\text{наиб}} = L + \frac{d_A}{2} - \Delta + \frac{F}{2}$ $B_{\text{наим}} = L + \frac{d_A}{2} - \Delta + \frac{\delta_n}{2}$ $B_{\text{изн (наим)}} = L + \frac{d_A}{2} - \Delta$ $B_{\text{изн (наиб)}} = L + \frac{d_A}{2} - \Delta + \frac{F}{2} + \frac{\delta_n}{2}$
<p>2. Расстояние между осью вала (выступа) и пло- скостью</p>		$A_{\text{наиб}} = L - \frac{d_B}{2} - \Delta + \frac{F}{2}$ $A_{\text{наим}} = L - \frac{d_B}{2} - \Delta + \frac{\delta_n}{2}$ $A_{\text{изн (наим)}} = L - \frac{d_B}{2} - \Delta$ $A_{\text{изн (наиб)}} = L - \frac{d_B}{2} - \Delta + \frac{F}{2} + \frac{\delta_n}{2}$ $B_{\text{наим}} = L + \frac{d_B}{2} + \Delta - \frac{F}{2}$ $B_{\text{наиб}} = L + \frac{d_B}{2} + \Delta - \frac{\delta_n}{2}$ $B_{\text{изн}} = L + \frac{d_B}{2} + \Delta$

Продолжение табл. 2.50

Контролируемый размер	Эскиз калибра	Формулы для расчета предельных размеров калибров
<p>3. Расстояние между осями двух отверстий</p>		$A_{\text{наим}} = L - \frac{d_{A_1} + d_{A_2}}{2} + 2\Delta - \frac{F_1 + F_2}{2}$ $A_{\text{наиб}} = L - \frac{d_{A_1} + d_{A_2}}{2} + 2\Delta - \frac{\delta_{H_1} + \delta_{H_2}}{2}$ $A_{\text{изн}} = L - \frac{d_{A_1} + d_{A_2}}{2} + 2\Delta$ $B_{\text{наиб}} = L + \frac{d_{A_1} + d_{A_2}}{2} - 2\Delta + \frac{F_1 + F_2}{2}$ $B_{\text{наим}} = L + \frac{d_{A_1} + d_{A_2}}{2} - 2\Delta + \frac{\delta_{H_1} + \delta_{H_2}}{2}$ $B_{\text{изн}} = L + \frac{d_{A_1} + d_{A_2}}{2} - 2\Delta$
<p>4. Расстояние между осями двух валов (выступов)</p>		$A_{\text{наиб}} = L - \frac{d_{B_1} + d_{B_2}}{2} - 2\Delta + \frac{F_1 + F_2}{2}$ $A_{\text{наим}} = L - \frac{d_{B_1} + d_{B_2}}{2} - 2\Delta + \frac{\delta_{H_1} + \delta_{H_2}}{2}$ $A_{\text{изн}} = L - \frac{d_{B_1} + d_{B_2}}{2} - 2\Delta$

Продолжение табл. 2.50

Контролируемый размер	Эскиз калибра	Формулы для расчета предельных размеров калибров
4. Расстояние между осями двух валов (выступов)	См. эскиз на стр. 425	$B_{\text{наим}} = L + \frac{d_{B_1} + d_{B_2}}{2} + 2\Delta - \frac{F_1 + F_2}{2}$ $B_{\text{наиб}} = L + \frac{d_{B_1} + d_{B_2}}{2} + 2\Delta - \frac{\delta_{H_1} + \delta_{H_2}}{2}$ $B_{\text{изн}} = L + \frac{d_{B_1} + d_{B_2}}{2} + 2\Delta$
<p>П р и м е ч а н и я:</p> <p>1. При контроле калибрами, отмеченными знаком *, соответствующая измерительная поверхность калибра должна прилегать к базовой плоскости изделия.</p> <p>2. Изделие считается годным, если в него проходят оба калибра (с размерами A и B), входящие в комплект.</p> <p>3. Обозначения, принятые в формулах таблицы: $A_{\text{наиб}}$, $B_{\text{наиб}}$ — наибольшие предельные размеры калибров; $A_{\text{наим}}$, $B_{\text{наим}}$ — наименьшие предельные размеры калибров; $A_{\text{изн}}$, $B_{\text{изн}}$ — размеры предельно изношенных калибров; L — номинальное расстояние между осями или между осью и плоскостью.</p> <p>Остальные обозначения — по рис. 2.47 и табл. 2.46.</p>		

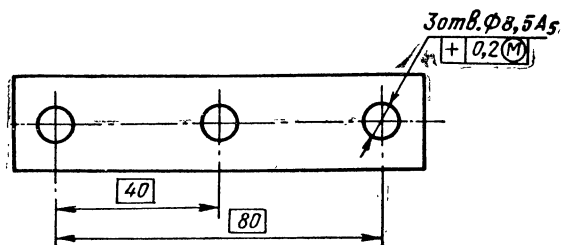


Рис. 2.48

2. Предельные размеры пробок калибра рассчитываем по формулам табл. 2.49, п. 1:

$$d_{\text{к наиб}} = 8,5 - 0,2 \cdot 2 + 0,052 = 8,152 \text{ мм};$$

$$d_{\text{к наим}} = 8,152 - 0,012 = 8,140 \text{ мм};$$

$$d_{\text{к изн}} = 8,152 - 0,012 = 8,140 \text{ мм}.$$

3. Предельное смещение осей пробок от номинального расположения определяем по табл. 2.46: $\Delta_k = 0,012$ мм.

В случае контроля размеров, координирующих оси пробок, согласно табл. 1.104, п. 3 (при $\Delta_k = 0,012$ мм) предельные отклонения размеров между осями двух любых пробок равны $\pm 0,016$ мм и предельные смещения осей пробок от общей плоскости равны $\pm 0,008$ мм.

Схема калибра с указанием исполнительных размеров и допусков приведена на рис. 2.49.

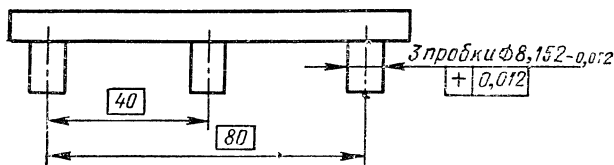


Рис. 2.49

Пример 12. Расчет неразъемного калибра для контроля расположения четырех отверстий диаметром $16A_4$ в детали, показанной на рис. 2.50. Смещение осей отверстий от номинального расположения не более 0,1 мм, допуск зависимый, база — отверстие диаметром $40A_3$.

1. Предельные отклонения и допуски диаметров пробок калибра согласно табл. 2.46 при $\Delta = 0,1$ мм:

а) пробки для контроля расположения отверстий диаметром $16A_4$

$$F = 0,026 \text{ мм}; \delta_k = 0,008 \text{ мм}; \delta_{и} = 0,010 \text{ мм};$$

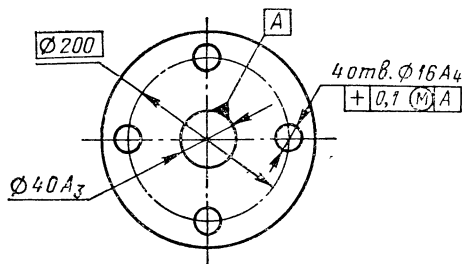


Рис. 2.50

б) базовой пробки

$$\delta_{k_0} = \delta_k = 0,008 \text{ мм}; \delta_{и_0} = \delta_{и} = 0,010 \text{ мм}.$$

Предельные размеры пробок калибра рассчитываем по формулам табл. 2.49, п. 2:

а) базовой пробки

$$d_{k_0 \text{ наиб}} = d_{\text{пр изн}} = 40 - 0,005 = 39,995 \text{ мм};$$

(размер $d_{\text{пр изн}}$ определяем по табл. 2.5);

$$d_{\text{к}_0 \text{ наин}} = 39,995 - 0,008 = 39,987 \text{ мм};$$

$$d_{\text{к}_0 \text{ изн}} = 39,995 - 0,008 - 0,010 = 39,977 \text{ мм};$$

б) остальных пробок

$$d_{\text{к наиб}} = 16 - 2 \cdot 0,1 + 0,026 + 0,008 = 15,834 \text{ мм};$$

$$d_{\text{к наин}} = 15,834 - 0,008 = 15,826 \text{ мм};$$

$$d_{\text{к изн}} = 15,834 - 0,008 - 0,010 = 15,816 \text{ мм}.$$

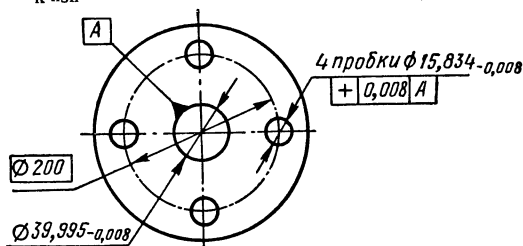


Рис. 2.51

3. Предельное смещение осей пробок от номинального расположения согласно табл. 2.46: $\Delta_{\text{к}} = 0,008 \text{ мм}$.

В случае контроля размеров, координирующих оси пробок, согласно табл. 1.105 п. 3 (при $\Delta_{\text{к}} = 0,008 \text{ мм}$) предельные отклонения расстояния между осью каждой пробки, расположенной на окружности диаметром 200 мм, и осью базовой пробки равны $\delta R_{\text{к}} = \pm 0,0055 \text{ мм}$ и предельные отклонения центрального угла между осями двух любых пробок, расположенных на окружности диаметром 200 мм, равны $\pm 20''$.

Схема калибра с указанием исполнительных размеров и допусков приведена на рис. 2.51.

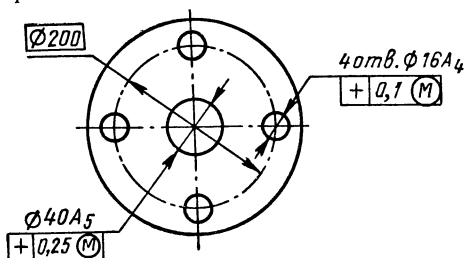


Рис. 2.52

Пример 13. Расчет неразъемного калибра для контроля расположения группы отверстий (четыре отверстия диаметром $16A_4$ и центрального отверстия диаметром $40A_5$), в детали, показанной на рис 2.52. Смещение осей отверстий диаметром $16A_4$ от номинального расположения не более 0,1 мм, допуск зависимый. Смещение оси отверстия диаме-

тром $40A_5$ от номинального расположения не более 0,25 мм; допуск зависимый.

Если для детали задана предельная несоосность или несимметричность центрального отверстия и окружности центров периферийных отверстий, то смещение оси центрального отверстия от номинального расположения, необходимое для расчета калибра, принимают равным предельной несоосности (несимметричности).

Калибр в данном примере не имеет базового измерительного элемента.

1. Предельные отклонения и допуски пробок калибра согласно табл. 2.46:

а) пробки для контроля расположения отверстия диаметром $16A_4$ (при $\Delta_1 = 0,1$ мм)

$$F_1 = 0,026 \text{ мм}; \quad \delta_{\kappa_1} = 0,008 \text{ мм}; \quad \delta_{и_1} = 0,010 \text{ мм};$$

б) пробки для контроля расположения отверстия диаметром $40A_5$ (при $\Delta_2 = 0,25$ мм)

$$F_2 = 0,052 \text{ мм}; \quad \delta_{\kappa_2} = 0,012 \text{ мм}; \quad \delta_{и_2} = 0,016 \text{ мм}.$$

2. Предельные размеры пробок калибра рассчитываем по формулам табл. 2.49, п. 1:

а) пробки для контроля расположения отверстий диаметром $16A_4$

$$d_{\kappa_1 \text{ наиб}} = 16 - 2 \cdot 0,1 + 0,026 = 15,826 \text{ мм};$$

$$d_{\kappa_1 \text{ наим}} = 15,826 - 0,008 = 15,818 \text{ мм};$$

$$d_{\kappa_1 \text{ изн}} = 15,826 - 0,008 - 0,010 = 15,808 \text{ мм};$$

б) пробки для контроля расположения отверстия диаметром $40A_5$

$$d_{\kappa_2 \text{ наиб}} = 40 - 2 \cdot 0,25 + 0,052 = 39,552 \text{ мм};$$

$$d_{\kappa_2 \text{ наим}} = 39,552 - 0,012 = 39,540 \text{ мм};$$

$$d_{\kappa_2 \text{ изн}} = 39,552 - 0,012 - 0,016 = 39,524 \text{ мм}.$$

3. Предельное смещение осей пробок от номинального расположения согласно табл. 2.46:

а) для пробок, контролирующих расположение отверстий диаметром $16A_4$, $\Delta_{\kappa_1} = 0,008$ мм.

В случае контроля размеров, координирующих оси этих пробок, согласно табл. 1.105, п. 2 (при $\Delta_{\kappa_1} = 0,008$ мм) предельные отклонения диаметра окружности центров (диаметром 200 мм) равны $\delta D_{\kappa} = \pm 0,011$ мм и предельные отклонения центрального угла между осями двух любых пробок равны $\pm 20''$;

б) для пробки, контролирующей расположение отверстия диаметром $40A_5$, $\Delta_{\kappa_2} = 0,012$ мм.

Контроль величины Δ_{κ_2} может быть заменен контролем отклонения расстояния от оси центральной пробки до оси каждой из пробок, расположенных на окружности диаметром 200 мм. Отклонение этого расстояния (см. стр. 414) не должно превышать величины $\pm (\Delta_{\kappa_1} + \Delta_{\kappa_2}) = \pm (0,008 + 0,012) = \pm 0,020$ мм.

Схема калибра с указанием исполнительных размеров и допусков измерительных элементов приведена на рис. 2.53.

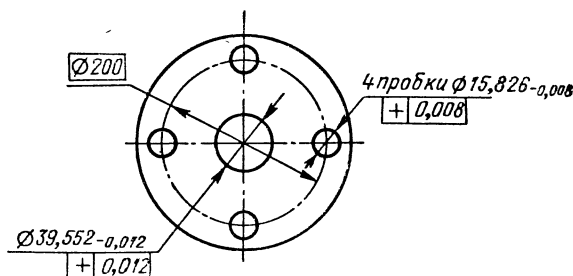


Рис. 2.53

Пример 14. Расчет калибра для контроля несоосности наружной и внутренней поверхностей детали, показанной на рис. 2.54. Отклонение от соосности поверхностей $\varnothing 10A_4$ и $\varnothing 20C_4$ не более 0,3 мм, допуск зависимый.

1. Предельное смещение осей контролируемых поверхностей детали от номинального расположения согласно табл. 2.48, п. 3

$$\Delta_1 = \Delta_2 = \frac{e}{2} = 0,15 \text{ мм.}$$

2. Предельные отклонения и допуски измерительных элементов калибра согласно табл. 2.46 (при $\Delta = 0,15$ мм):

$$F_1 = F_2 = 0,032 \text{ мм; } \delta_{K_1} = \delta_{K_2} = 0,010 \text{ мм;}$$

$$\delta_{H_1} = \delta_{H_2} = 0,012 \text{ мм; } \Delta_{K_1} = \Delta_{K_2} = 0,010 \text{ мм.}$$

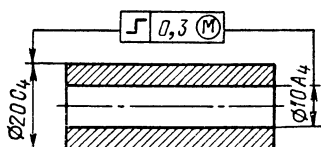


Рис. 2.54

3. Предельные размеры измерительных элементов калибра рассчитываем по формулам табл. 2.49, п. 1:

а) для наружной поверхности детали

$$d_{K_1 \text{ наим}} = 20 + 0,15 \cdot 2 - 0,032 = 20,268 \text{ мм;}$$

$$d_{K_1 \text{ наиб}} = 20,268 + 0,010 = 20,278 \text{ мм;}$$

$$d_{K_1 \text{ изн}} = 20,268 + 0,010 + 0,012 = 20,290 \text{ мм;}$$

б) для внутренней поверхности детали

$$d_{K_2 \text{ наиб}} = 10 - 0,15 \cdot 2 + 0,032 = 9,732 \text{ мм;}$$

$$d_{K_2 \text{ наим}} = 9,732 - 0,010 = 9,722 \text{ мм;}$$

$$d_{K_2 \text{ изн}} = 9,732 - 0,010 - 0,012 = 9,710 \text{ мм.}$$

4. Предельная несоосность измерительных элементов калибра равна (см. стр. 414):

$$e_k = \Delta_{k_1} + \Delta_{k_2} = 0,010 + 0,010 = 0,020 \text{ мм.}$$

Схема калибра с указанием исполнительных размеров и допусков измерительных элементов приведена на рис. 2.55.

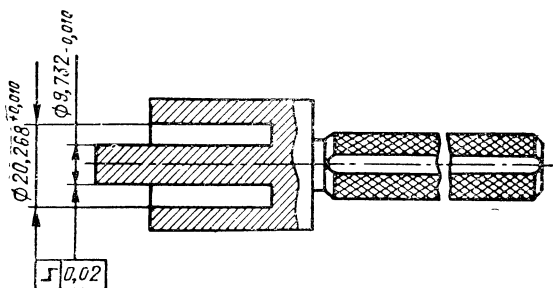


Рис. 2.55

Пример 15. Расчет калибра для контроля несоосности гладкой цилиндрической поверхности относительно резьбы в детали, показанной на рис. 2.56. Отклонение от соосности указанных поверхностей не более 0,4 мм, допуск зависимый.

1. Предельное смещение осей контролируемых поверхностей от номинального расположения согласно табл. 2.43, п. 1:

а) для гладкой поверхности
 $\Delta_1 = 0,4 \text{ мм;}$

б) для резьбовой (принимается за базу) $\Delta_0 = 0$.

2. Предельные отклонения и допуски измерительных элементов калибра согласно табл. 2.46 (при $\Delta = 0,4 \text{ мм}$):

а) для гладкой поверхности

$$F = 0,068 \text{ мм; } \delta_k = 0,016 \text{ мм;}$$

$$\delta_H = 0,020 \text{ мм; } \Delta_k = 0,016 \text{ мм;}$$

б) для резьбовой поверхности

$$\delta_{k_0} = \delta_k = 0,016 \text{ мм; } \delta_{H_0} = \delta_H = 0,020 \text{ мм.}$$

3. Предельные размеры измерительных элементов калибра рассчитываем по формулам табл. 2.49, п. 2:

а) для гладкой поверхности

$$d_{k \text{ наиб}} = 6 - 2 \cdot 0,4 + 0,068 + 0,016 = 5,284 \text{ мм;}$$

$$d_{k \text{ наим}} = 5,284 - 0,016 = 5,268 \text{ мм;}$$

$$d_{k \text{ изн}} = 5,284 - 0,016 = 0,020 = 5,248 \text{ мм;}$$

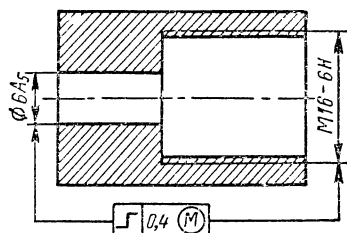


Рис. 2.56

б) для резьбовой поверхности

$$d_{к_0 \text{ наиб}} = d_{2 \text{ пр. изн}} = 14,701 - 0,005 = 14,696 \text{ мм}$$

($d_{2 \text{ пр. изн}}$ — средний диаметр резьбы проходного рабочего изношенного калибра определяем по табл. 2.27);

$$d_{к_0 \text{ наим}} = 14,696 - 0,016 = 14,680 \text{ мм};$$

$$d_{к_0 \text{ изн}} = 14,696 - 0,016 - 0,020 = 14,660 \text{ мм}.$$

4. Предельная несоосность гладкой поверхности относительно резьбовой (см. стр. 414)

$$e_k = \Delta_k = 0,016 \text{ мм}.$$

Схема калибра с указанием исполнительных размеров и допусков измерительных элементов приведена на рис. 2.57

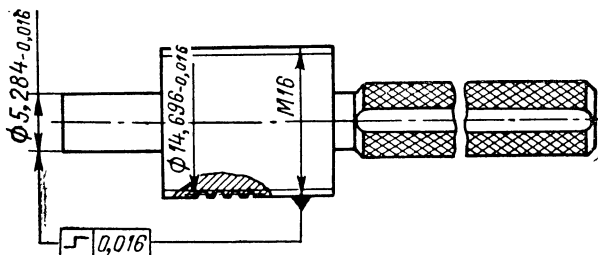


Рис. 2.57

Пример 16. Расчет размеров калибра для контроля расположения трех ступеней деталей — одной внутренней и двух наружных (рис. 1.37, сборка 2). Отклонение от симметричности выступа размером $35_{-0,34}^{+0,17}$ (выступ 1) относительно оси отверстия $\varnothing 100_{+0,035}^{+0,035}$ (базовое) не более 0,035 мм и выступа размером $35_{-0,50}^{+0,34}$ (выступ 2) относительно оси отверстия $\varnothing 100_{+0,035}^{+0,035}$ не более 0,070 мм; допуск зависимый.

1. Предельное смещение осей контролируемых поверхностей от номинального расположения согласно табл. 2.48, п. 1: для выступа 1 $\Delta_1 = 0,035$ мм; для выступа 2 $\Delta_2 = 0,070$ мм; для отверстия (базовое) $\Delta_0 = 0$.

2. Предельные отклонения и допуски измерительных элементов калибра согласно табл. 2.46:

для выступа 1

$$F_1 = 0,015 \text{ мм}; \quad \delta_{к_1} = 0,005 \text{ мм}; \quad \delta_{и_1} = 0,006 \text{ мм}; \quad \Delta_{к_1} = 0,004 \text{ мм};$$

для выступа 2

$$F_2 = 0,026 \text{ мм}; \quad \delta_{к_2} = 0,008 \text{ мм}; \quad \delta_{и_2} = 0,010 \text{ мм}; \quad \Delta_{к_2} = 0,008 \text{ мм};$$

для отверстия

$$\delta_{к_0} = \delta_{к_1} = 0,005 \text{ мм}; \quad \delta_{и_0} = \delta_{и_1} = 0,006 \text{ мм (см. стр. 413)}.$$

3. Предельные размеры измерительных элементов калибра определяем по формулам табл. 2.49, п. 2 (см. рис. 2.47):
для выступа 1

$$A_{1 \text{ наим}} = 34,83 + 2 \cdot 0,035 - 0,015 - 0,005 = 34,880 \text{ мм};$$

$$A_{1 \text{ наиб}} = 34,880 + 0,005 = 34,885 \text{ мм};$$

$$A_{1 \text{ изн}} = 34,880 + 0,005 + 0,006 = 34,891 \text{ мм};$$

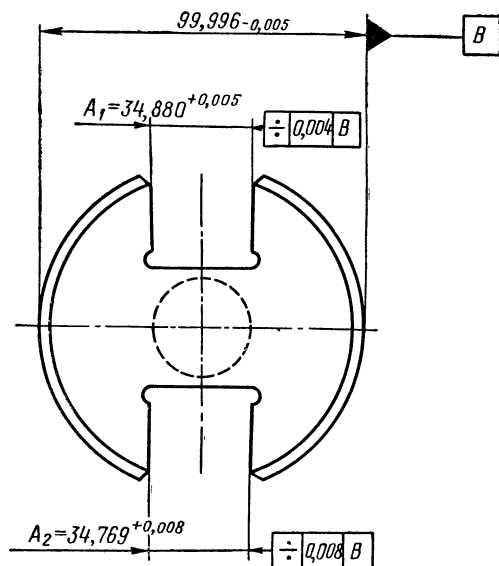


Рис. 2.58

для выступа 2

$$A_{2 \text{ наим}} = 34,66 + 2 \cdot 0,07 - 0,026 - 0,005 = 34,769 \text{ мм};$$

$$A_{2 \text{ наиб}} = 34,769 + 0,008 = 34,777 \text{ мм};$$

$$A_{2 \text{ изн}} = 34,769 + 0,008 + 0,010 = 34,787 \text{ мм};$$

для отверстия

$$d_{к_0 \text{ наиб}} = \text{ПР}_{\text{изн}} = 99,996 \text{ мм (см. табл. 2.5)};$$

$$d_{к_0 \text{ наим}} = 99,996 - 0,005 = 99,991 \text{ мм};$$

$$d_{к_0 \text{ изн}} = 99,996 - 0,005 - 0,006 = 99,985 \text{ мм}.$$

Исполнительные размеры и предельные отклонения от симметричности измерительных элементов калибра приведены на рис. 2.58.

Список литературы

1. Бруевич Н. В., Брейтман З. М., Резников Ю. М. Технические измерения в подшипниковой промышленности. М., Машгиз, 1963, 200 с.
2. Взаимозаменяемость и технические измерения в машиностроении. Вып. 6. Под ред. К. И. Абаджи и Б. П. Тимофеева. Л., «Машиностроение», 1972, с. 279—284.
3. Городецкий Ю. Г., Мухин Б. И., Соломатин Н. А. и др. Приборы и автоматы для контроля подшипников. Справочник. М., «Машиностроение», 1973, 256 с.
4. Справочник по производственному контролю в машиностроении. Под ред. А. К. Кутай. Изд. 2-е. Л., Машгиз, 1964, 748 с.
5. ОСТ 2 БВ 63—1—71. Калибры профильные. Допуски. М., Минсганкопром, 1972, 14 с.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

1. ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ В ОБЛАСТИ ЛИНЕЙНЫХ И УГЛОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ¹

Метрология — наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Физическая величина — свойство, общее в качественном отношении многим физическим объектам (физическим системам, их состояниям и происходящим в них процессам), но в количественном отношении индивидуальное для каждого объекта.

Примечания:

1. Индивидуальность в количественном отношении следует понимать так, что свойство может быть для одного объекта в определенное число раз больше или меньше, чем для другого.

2. Не следует применять термин «величина» для выражения только количественной стороны рассматриваемого свойства, например писать «величина массы», «величина давления», «величина силы», «величина диаметра» и т. д., так как эти свойства сами являются величинами.

Значение физической величины — оценка физической величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц.

Истинное значение физической величины — значение физической величины, которое идеальным образом отражало бы в качественном и количественном отношениях соответствующее свойство объекта.

Действительное значение физической величины — значение физической величины, найденное экспериментальным путем и настолько приближающееся к истинному значению, что для данной цели может быть использовано вместо него.

Единица физической величины — физическая величина, которой по определению присвоено числовое значение, равное единице.

Основная единица физической величины — единица основной физической величины, выбранная при построении системы единиц.

Производная единица физической величины — единица производной физической величины, образуемая по определяющему эту единицу уравнению из других единиц данной системы единиц.

¹ Определения даны по ГОСТ 16263—70; термины, отмеченные звездочками, — по другим ГОСТ или не стандартизованы. * — определение не стандартизовано; ** — определение по ГОСТ 15467—70; *** — определение по ГОСТ 16504—70; **** — определение по ГОСТ 8.009—72; ***** — определение по МС-14—71. СЭВ. «Метрология. Термины и определения».

Система единиц физических величин — совокупность основных и производных единиц, относящаяся к некоторой системе величин и образованная в соответствии с принятыми принципами. Например, системы единиц МКС; международная система единиц (СИ).

Измерение — нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств

$$A = nu,$$

где A — значение измеряемой величины; u — единица измерения; n — число, показывающее сколько раз единица измерения содержится в измеряемой величине.

Прямое измерение — измерение, при котором искомое значение величины находят непосредственно из опытных данных.

Косвенное измерение — измерение, при котором искомое значение величины находят на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям. Например, нахождение диаметра по длине окружности.

Совокупные измерения — одновременно или последовательно производимые измерения нескольких одноименных величин, при которых искомые значения находят решением системы уравнений, получаемых при прямых измерениях различных сочетаний этих величин. Например, измерения многогранника (с помощью двух автоколлиматоров), при которых значения отдельных углов многогранника находят по уравнениям, связывающим каждое прямое измерение со средним арифметическим из всех измерений (метод калибровки).

Контроль качества продукции ** — проверка соответствия показателей качества продукции установленным требованиям.

Контроль отдельного параметра можно понимать как определение того, находится ли значение контролируемой физической величины между предельными ее значениями или вне их (без нахождения численного ее значения). Например, определение того, находится ли действительный размер детали между наибольшим и наименьшим предельными размерами.

Поэлементный контроль* — независимый контроль каждого в отдельности элемента объекта (например, половины угла профиля резьбы, шага зубчатого колеса).

Активный контроль*** — контроль продукции или технологического процесса, осуществляемый в процессе изготовления продукции измерительными приборами, встроенными в технологическое оборудование, и используемый для управления процессом производства.

Пассивный контроль* — контроль, осуществляемый после изготовления (после операции обработки) и непосредственно не используемый для воздействия на процесс производства.

Принцип измерения — совокупность физических явлений, на которых основаны измерения. Например, измерение длины по изменению давления воздуха в сети прибора.

Метод измерений — совокупность приемов использования принципов и средств измерений.

Метод непосредственной оценки (непосредственный метод) — метод измерений, при котором значение величины определяют непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора. Например, измерение длины с помощью штангенциркуля.

Метод сравнения — метод измерений, при котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой. Например, измерение размера с помощью рычажной скобы, установленной по концевым мерам длины.

Средство измерений — техническое средство, используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические свойства.

Мера — средство измерений, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера. Например плоскопараллельная концевая мера длины.

Измерительный прибор — средство измерений, предназначенное для выработки численного показания или сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем.

Показывающий измерительный прибор — измерительный прибор, позволяющий только отсчитывать показания.

Самопишущий измерительный прибор — измерительный прибор, в котором предусмотрена запись показаний в форме диаграммы.

Печатающий измерительный прибор — измерительный прибор, в котором предусмотрено печатание показаний в цифровой форме.

Цифровой измерительный прибор — измерительный прибор, автоматически вырабатывающий дискретные сигналы измерительной информации, показания которого представлены в цифровой форме.

Преобразователь — средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и (или) хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателем. Применять термин «датчик» не рекомендуется.

Калибр* — средство контроля, предназначенное для проверки годности размера детали (например, калибр предельный) или ее конфигурации. Аналогичные термины — шаблон, нормальный калибр.

Контрольный автомат* — прибор для автоматического приема, ориентирования, транспортирования, измерения и сортировки изделий на годные и брак.

Контрольный полуавтомат* — прибор выполняющий одну или несколько из свойственных контрольному автомату функций с участием оператора. Например, контрольный автомат для отбраковки негодных по размеру роликов и сортировки годных на несколько размерных групп с ручной загрузкой роликов на измерительную позицию.

Эталон — средство измерений, обеспечивающее воспроизведение и (или) хранение единицы с целью передачи ее размера нижестоящим по поверочной схеме средствам измерений, выполненное по особой спецификации и официально утвержденное в установленном порядке в качестве эталона.

Образцовое средство измерений — мера, измерительный прибор или измерительный преобразователь, служащие для проверки по ним других средств измерений и утвержденные в качестве образцовых.

Рабочее средство измерений — средство, применяемое для измерений, не связанных с передачей размера единицы. Например, микрометр, инструментальный микроскоп.

Поверочная схема — утвержденный в установленном порядке документ, определяющий средства, методы и точность передачи размера единицы от эталона или исходного образцового средства измерений рабочим средствам измерений.

Шкала — часть отсчетного устройства, представляющая совокупность отметок и проставленных у некоторых из них чисел отсчета и других символов, соответствующих ряду последовательных значений величины.

Отметка шкалы — знак на шкале, соответствующий некоторому значению измеряемой величины. Например, знак может быть в виде черты, точки, зубца и т. д.

Деление шкалы — промежуток между двумя соседними отметками шкалы.

Указатель — часть отсчетного устройства, положение которой относительно отметок шкалы определяет показание средства измерений.

Цена деления шкалы — разность значений величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы.

Отсчет — число, отсчитанное по отсчетному устройству средства измерений, либо полученное счетом последовательных отметок или сигналов.

Показание средства измерений — значение величины, определяемое по отсчетному устройству и выраженное в принятых единицах этой величины.

Диапазон показаний — область значений шкалы, ограниченная конечным и начальным значениями шкалы; например, диапазон показаний на оптиметре $\pm 0,1$ мм.

Диапазон измерений — область значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаемые погрешности средства измерений. Например, диапазон измерений длин на вертикальном оптиметре 0—180 мм.

Предел измерений — наибольшее или наименьшее значение диапазона измерений.

Чувствительность измерительного прибора — отношение изменения сигнала или показания измерительного прибора к вызывающему его изменению измеряемой величины.

Порог реагирования средства измерений ***** — изменение измеряемой величины, вызывающее наименьшее изменение выходного сигнала средства измерений, которое может быть обнаружено при обычном для данного средства измерений способе отсчитывания показаний.

Постоянная средства измерений ***** — множитель, на который надо умножить отсчет, чтобы получить показание средства измерений.

Номинальное значение меры — значение величины, указанное на мере или приписанное ей.

Действительное значение меры — действительное значение величины, воспроизводимое мерой и установленное метрологической аттестацией.

Погрешность меры — разность между номинальным значением меры и истинным значением воспроизводимой ею величины.

Погрешность измерительного прибора — разность между показанием прибора и истинным значением измеряемой им величины.

Поправка — значение величины, одноименной с измеряемой, прибавляемое к полученному при измерении значению величины с целью исключения систематической погрешности. Например, результат измерения $A = 9,99$; поправка $+0,01$; искомый размер $X = 9,99 + + 0,01 = 10,0$.

Поправочный множитель — число, на которое умножают результат измерения с целью исключения систематической погрешности.

Предел допускаемой погрешности средства измерений — наибольшая (без учета знака) погрешность средства измерений, при которой оно может быть признано годным и допущено к применению. Понятие применимо к основной погрешности, дополнительной и к изменению показаний. Например, пределы допускаемой погрешности 100-миллиметровой концевой меры длины 1-го класса равны $\pm 0,5$ мкм.

Погрешность измерения — отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины.

Систематическая погрешность измерения — составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же величины.

Случайная погрешность измерения — составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины. Например, погрешность вследствие вариации показаний измерительного прибора; погрешность округления при отсчитывании показаний измерительного прибора (см. также главу пятнадцатую).

Грубая погрешность измерения — погрешность измерения, существенно превышающая ожидаемую при данных условиях.

Абсолютная погрешность измерения — погрешность измерения, выраженная в единицах измеряемой величины.

Абсолютная погрешность измерения $\Delta \bar{x}$ в принципе определяется формулой

$$\Delta \bar{x} = x_{\text{изм}} - x,$$

где $x_{\text{изм}}$ — значение, полученное при измерении; x — истинное значение измеряемой величины.

Относительная погрешность измерения — отношение абсолютной погрешности измерения к истинному значению измеряемой величины (погрешность измерения, выраженная в долях или в процентах от значения измеряемой величины).

Инструментальная погрешность — составляющая погрешности измерения, зависящая от погрешностей применяемых средств измерений.

Погрешность метода измерений — составляющая погрешности измерения, происходящая от несовершенства метода измерений.

В погрешность метода измерений входит погрешность, зависящая от приемов измерения, включая условия, в которых производятся измерения.

Доверительные границы погрешности результата измерения (доверительная погрешность) — верхняя и нижняя границы интервала, накрывающего с заданной вероятностью погрешность измерения.

При симметричных границах термин применяется в единственном числе.

Класс точности средства измерений — обобщенная характеристика средства измерений, определяемая пределами допускаемых основных и дополнительных погрешностей, а также другими свойствами средств измерений, влияющими на точность, значения которых устанавливаются в стандартах на отдельные виды средств измерений.

Класс точности средств измерений характеризует их свойства в отношении точности, но не является непосредственным показателем точности измерений, выполняемых с помощью этих средств. Например, класс точности плоскопараллельных концевых мер длины характеризует близость их размера к номинальному, допускаемое отклонение от плоскопараллельности, а также притираемость и стабильность.

Суммарная погрешность измерения * Δ — погрешность, включающая инструментальную погрешность, погрешность метода измерений и дополнительные погрешности.

Точность измерений — качество измерений, отражающее близость их результатов к истинному значению измеряемой величины.

Примечания:

1. Высокая точность измерений характеризуется малыми погрешностями всех видов — систематическими и случайными.

2. Количественно точность может быть выражена обратной величиной модуля относительной погрешности. Например, если погрешность измерений равна 10^{-4} , то точность равна 10^4 .

Правильность измерений — качество измерений, отражающее близость к нулю систематических погрешностей в их результатах.

Сходимость измерений — качество измерений, отражающее близость друг к другу результатов измерений, выполняемых в одинаковых условиях.

Воспроизводимость измерений — качество измерений, отражающее близость друг к другу результатов измерений, выполняемых в различных условиях (в различное время, в различных местах, различными методами и средствами).

Вариация показаний измерительного прибора **** — средняя разность между значениями показаний измерительного прибора, соответствующими данной точке диапазона измерения при двух направлениях медленного многократного изменения информативного параметра входного сигнала в процессе подхода к данной точке диапазона измерения.

Размах показаний ***** — мера рассеивания показаний средства измерений, выраженная как разность между наибольшим и наименьшим из ряда показаний, соответствующих одной и той же измеряемой величине¹.

¹ Вариация показаний в стандартах, изданных ранее, соответствует понятию размаха показаний. Это относится также к главам четвертой—седьмой, десятой и одиннадцатой настоящего справочника, где встречаются эти термины.

Основная погрешность средства измерений — погрешность средства измерений, используемого в нормальных условиях.

Метрологическая служба — сеть государственных и ведомственных метрологических органов и их деятельность, направленная на обеспечение единства измерений и единообразие средств измерений.

Единство измерений — состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах и погрешности измерений известны с заданной вероятностью.

Единообразие средств измерений — состояние средств измерений, характеризующееся тем, что они проградуированы в узаконенных единицах и их метрологические свойства соответствуют нормам.

Проверка средства измерений — определение метрологическим органом погрешностей средства измерений и установление его пригодности к применению.

Различают категории проверки: государственную, ведомственную, первичную, периодическую, внеочередную, инспекционную и др. согласно ГОСТ 16263—70.

Ожидаемая (расчетная) погрешность результата измерения* — возможное (согласно аналитическому расчету) отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины.

Предел ожидаемой (расчетной) погрешности результата измерения* — наибольшее возможное (согласно аналитическому расчету) отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины.

2. ЕДИНСТВО ИЗМЕРЕНИЙ И ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Высшим органом, определяющим и регулирующим государственную систему обеспечения единства измерений¹, является Государственный комитет стандартов Совета Министров СССР (Госстандарт СССР) и его институты.

Сеть государственных и ведомственных метрологических органов и их деятельность, направленная на обеспечение единства измерений и единообразие средств измерений, составляют метрологическую службу в стране. При этом сеть государственных метрологических органов называют Государственной метрологической службой, сеть метрологических органов отдельного ведомства — ведомственной метрологической службой.

Деятельность государственной и ведомственных метрологических служб определена государственными стандартами:

ГОСТ 16263—70. «Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Термины и определения».

ГОСТ 8.000—72. «Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Основные положения».

ГОСТ 8.001—71. «ГСИ. Организация и порядок проведения государственных испытаний средств измерений».

ГОСТ 8.002—71. «ГСИ. Организация и порядок проведения поверки, ревизии и экспертизы средств измерений».

¹ Определение термина см. ранее.

ГОСТ 8.000—72 устанавливает, что государственная система обеспечения единства измерений — это комплекс регламентированных стандартами взаимоувязанных правил и положений, требований и норм, определяющих организацию и методику проведения работ по оценке и обеспечению точности измерений, результаты которых используются государственными органами, предприятиями и учреждениями СССР. Стандарт, введенный в действие с 1/1 1973 г., определяет объекты стандартизации и виды стандартов государственной системы обеспечения единства измерений.

ГОСТ 8.002—71, введенный в действие с 1/1 1972 г., устанавливает основные положения системы метрологического надзора за средствами измерений, новыми, отремонтированными, поставляемыми по импорту и находящимися в обращении. Стандарт излагает комплекс правил, положений и требований технического, экономического и правового характера, в частности определяет состояние и исправность средств измерений, правильность производимых измерений, организацию и качество ведомственного метрологического надзора, ответственность руководителей предприятий и организаций. Стандарт устанавливает право предприятий, имеющих зарегистрированные метрологические службы, производить поверку средств измерений, за исключением образцовых и используемых в качестве исходных, выпускаемых из ремонта, выполненного для сторонних предприятий, а также предназначенных для измерений, связанных с учетом материальных ценностей, взаимными расчетами и торговлей, охраной здоровья и обеспечением безопасности и безвредности труда. Стандарт заменил действовавшие ранее Правила 12—58.

В соответствии с решениями 10 и 11-й Генеральных Конференций по мерам и весам разработан и введен в действие с 1/1 1963 г. ГОСТ 9867—61 «Международная система единиц», которая обозначается символом SI (СИ).

Основными единицами системы СИ являются метр, килограмм, секунда, ампер, градус Кельвина и кандела [1].

Метр (м) — длина, равная 1 650 763,73 длин волн в вакууме излучения, соответствующего переходу между уровнями $2P_{10}$ и $5d_5$ атома криптона-86.

Килограмм (кг) — единица массы — представлен массой международного прототипа килограмма.

Секунда (с) — время, равное 9 192 631 770 периодов излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133.

Ампер (А) — сила неизменяющегося тока, который, проходя по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малого кругового сечения, расположенным на расстоянии 1 м один от другого в вакууме, вызвал бы между этими проводниками силу, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н на каждый метр длины.

Градус Кельвина (К) — единица термодинамической температуры — $\frac{1}{273,16}$ часть термодинамической температуры тройной точки воды.

Кандела (кд) — сила света, испускаемого с площади $\frac{1}{600000}$ м² сечения полного излучателя в перпендикулярном к этому сечению направлении при температуре излучателя, равной температуре затвердевания платины при давлении 101 325 Па.

Моль — величина количества вещества.

Киломоль — количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в нуклиде ^{12}C массой 12 кг (точно). При применении моля структурные элементы должны быть специфицированы и могут быть атомами, молекулами, ионами, электронами и другими частицами или специфицированными группами частиц.

Примечание. Производные единицы молярных величин могут быть образованы заменой единицы массы — килограмма единицей количества вещества — киломолем.

В качестве дополнительных единиц установлены:

для плоского угла — радиан (рад) — угол между двумя радиусами окружности, дуга между которыми равна радиусу; для телесного угла —стерадиан (стер) — телесный угол с вершиной в центре сферы, вырезающий из поверхности сферы площадь, равную площади квадрата со стороной, длина которой равна радиусу сферы.

Для других величин установлены следующие производные единицы: ньютон (Н) — единица силы, равная $(1 \text{ кг}) \cdot (1 \text{ м}) : (1 \text{ с})^2$. ($1 \text{ Н} = 0,102 \text{ кгс}$);

джоуль (Дж) — единица работы, энергии, количества теплоты, равная $(1 \text{ Н}) \cdot (1 \text{ м})$;

ватт (Вт) — единица мощности, равная $(1 \text{ Дж}) : (1 \text{ с})$;

кулон (Кл) — единица количества электричества, электрического заряда, равная $(1 \text{ А}) \cdot (1 \text{ с})$;

вольт (В) — единица электрического напряжения, равная $(1 \text{ Вт}) : (1 \text{ А})$;

ом (Ом) — единица электрического сопротивления, равная $(1 \text{ В}) : (1 \text{ А})$;

паскаль (Па) — единица давления, механического напряжения, равная $(1 \text{ Н}) : (1 \text{ м})^2$; ($1 \text{ Па} = 1,02 \cdot 10^{-5} \text{ кгс} : 1 \text{ см}^2$);

фарада (Ф) — единица электрической емкости, равная $(1 \text{ Кл}) : (1 \text{ В})$;

люмен (лм) — единица светового потока, равная $(1 \text{ кд}) \cdot (1 \text{ стер})$;

люкс (лк) — единица освещенности, равная $(1 \text{ лм}) : (1 \text{ м})^2$.

Образование кратных и дольных единиц производится в соответствии с ГОСТ 7663—55.

С 1/VII 1962 г. введены в действие:

ГОСТ 7664—61 «Механические единицы», устанавливающий применение трех систем единиц для измерения механических величин: МКС (метр, килограмм, секунда), СГС (сантиметр, грамм, секунда) и МКГСС (метр, килограмм-сила, секунда). Стандарт допускает также применение внесистемных единиц, являющихся кратными и дольными основных и производных единиц;

ГОСТ 8550—61 «Тепловые единицы», устанавливающий для измерения тепловых величин применение единиц системы МКСГ (метр, килограмм, секунда, градус Кельвина). Стандарт допускает применение для тепловых величин внесистемных единиц, основанных на калории, а также отдельных производных единиц, в которых в качестве единицы времени служит час.

Термодинамическая температурная шкала в градусах Кельвина применяется в качестве основной шкалы, к которой может быть отнесено, в конечном счете, любое измерение температуры. Для практических измерений температуры предусмотрено применение

Международной практической температурной шкалы, в которой температура выражена в градусах Цельсия.

Соотношение между температурой по термодинамической шкале (T) и по международной практической температурной шкале (t) дано в уравнении $T = t + T_0$, где $T_0 = -273,15$ К.

3. КЛАССЫ ТОЧНОСТИ И МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

ГОСТ 13600—68 «ГСИ. Средства измерений. Классы точности. Общие требования», введенный в действие с 1/1 1969 г., распространяется на меры, измерительные приборы и измерительные преобразователи. Стандарт устанавливает способы выражения пределов допускаемых погрешностей средств измерений, классы точности и пределы допускаемых погрешностей, а также регламентирует обозначения и маркировку классов точности в зависимости от того, как выражены пределы допускаемых погрешностей для того или иного средства измерений. В частности, классы точности мер и измерительных приборов, пределы допускаемых погрешностей которых выражены в единицах измеряемой величины (например, плоскопараллельные концевые меры длины), обозначаются арабскими цифрами. При этом средства измерений с большими значениями допускаемых погрешностей должны соответствовать большим порядковым номерам.

Конкретные ряды классов точности устанавливаются в стандартах на отдельные виды средств измерений.

ГОСТ 8.009—72 «ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений», введенный в действие с 1/1 1974 г., распространяется на нормативно-техническую документацию, регламентирующую метрологические характеристики средств измерений. Стандарт устанавливает три группы средств измерений:

1-я группа — средства, предназначенные или могущие быть использованными совместно с другими средствами измерений;

2-я группа — средства, предназначенные для использования только по отдельности;

3-я группа — для использования по отдельности, но точность которых заведомо превышает требуемую точность измерений.

Стандартом определены комплексы нормируемых метрологических характеристик средств измерений, способы их нормирования и формы представления в нормативно-технической документации.

В числе основных метрологических характеристик средств измерений следует упомянуть: наименьшую цену деления шкалы, систематическую составляющую погрешности средства измерений, случайную составляющую погрешности средства измерений, суммарную погрешность средства измерений и вариацию показаний измерительного прибора. В приложении к стандарту даны определения некоторых терминов, не вошедших в ГОСТ 16263—70.

Стандарт устанавливает, что наименьшая цена деления неравномерной шкалы измерительного прибора или многозначной меры со шкалой должна выражаться именованным числом.

Систематическая составляющая Δ_c нормируется комплексом характеристик: пределом допускаемой систематической составляющей

погрешности средства измерений данного типа; математическим ожиданием этой составляющей; средним квадратическим отклонением составляющей.

Случайная составляющая Δ нормируется также комплексом характеристик: пределом допускаемого среднего квадратического отклонения случайной составляющей погрешности средств измерений данного типа¹ и автокорреляционной функцией или спектральной плотностью этой составляющей.

Суммарная погрешность Δ средства измерений нормируется пределом допускаемого значения погрешности средств измерений данного типа.

Вариация (σ) показаний измерительного прибора нормируется пределом допускаемого значения вариации средств измерений данного типа.

Стандарт устанавливает комплексы метрологических характеристик для указанных выше групп средств измерений, а также способы экспериментальной оценки параметров погрешности.

4. ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

К причинам погрешностей результатов линейных и угловых измерений относятся, кроме собственно погрешностей средств измерений (инструментальных), условия выполнения измерений, влияние измерительного усилия при контактных измерениях, неправильное применение формы измерительных поверхностей, погрешности отсчитывания.

ГОСТ 8.050—73 устанавливает требования на нормальные условия выполнения линейных измерений в пределах от 1 до 500 мм и измерений углов с длиной меньшей стороны до 500 мм.

Нормальными (по стандарту) являются следующие значения основных влияющих величин:

Температура окружающей среды	20° С
Атмосферное давление	101 324,72 Па (760 мм рт. ст.)
Относительная влажность	58%
Ускорение свободного падения	9,8 м/с ²
Направление линии измерения линейных размеров до 160 мм:	
у наружных поверхностей	вертикальное
в остальных случаях	горизонтальное
Положение плоскости измерения углов	»
Относительная скорость движения внешней среды	0

Значения внешних сил, кроме сил тяжести, атмосферного давления, действия магнитного поля Земли и сил сцепления элементов измерительной системы (установки) равны нулю.

Для установления нормальных условий при линейных и угловых измерениях стандарт регламентирует выход действительного значения инструментальной погрешности за предел допускаемой основной погрешности средства измерения. Эти значения зависят от допусков и диапазона размеров.

Для линейных измерений установлено 14 рядов, для угловых — 5 рядов пределов допускаемых значений выхода $\delta_{\text{ин. л}}$ и $\delta_{\text{ин. у}}$ за предел допускаемой основной погрешности средства измерений (табл. 3.1 и 3.2).

Стандарт устанавливает пределы допускаемых отклонений от нормальных условий выполнения измерений. При линейных измерениях —

¹ Под типом понимается представитель серии приборов.

ТАБЛИЦА 3.1
Допускаемые значения выхода действительной инструментальной погрешности за предел допускаемой основной погрешности (для линейных измерений) в мкм

Диапазоны размеров в мм		Ряды пределов допускаемых значений													
		I		II		III		IV		V		VI		VII	
		$\Delta_{\text{л}}$	$\delta_{\text{ин. л}}$	$\Delta_{\text{л}}$	$\delta_{\text{ин. л}}$	$\Delta_{\text{л}}$	$\delta_{\text{ин. л}}$	$\Delta_{\text{л}}$	$\delta_{\text{ин. л}}$	$\Delta_{\text{л}}$	$\delta_{\text{ин. л}}$	$\Delta_{\text{л}}$	$\delta_{\text{ин. л}}$	$\Delta_{\text{л}}$	$\delta_{\text{ин. л}}$
Св. 1 до 3		0,2	0,02	0,3	0,03	0,5	0,06	0,8	0,1	1,2	0,15	2,0	0,2	3	0,3
» 3 » 6		0,25	0,03	0,4	0,05	0,6	0,07	1,0	0,1	1,5	0,20	2,5	0,3	4	0,5
» 6 » 10		0,25	0,03	0,4	0,05	0,6	0,07	1,0	0,1	1,5	0,20	2,5	0,3	4	0,5
» 10 » 18		0,3	0,03	0,5	0,06	0,8	0,10	1,2	0,15	2,0	0,25	3,0	0,3	5	0,6
» 18 » 30		0,4	0,05	0,6	0,07	1,0	0,10	1,5	0,2	2,5	0,30	4,0	0,5	6	0,7
» 30 » 50		0,4	0,05	0,6	0,07	1,0	0,10	1,5	0,2	2,5	0,30	4,0	0,5	7	0,8
» 50 » 80		0,5	0,07	0,8	0,10	1,2	0,15	2,0	0,25	3,0	0,35	5,0	0,6	8	0,9
» 80 » 120		0,6	0,07	1,0	0,10	1,5	0,20	2,5	0,3	4,0	0,50	6,0	0,7	10	1,1
» 120 » 180		0,8	0,10	1,2	0,15	2,0	0,25	3,5	0,4	5,0	0,60	8,0	0,9	12	1,3
» 180 » 260		1,2	0,15	2,0	0,25	3,0	0,35	4,5	0,5	7,0	0,80	10,0	1,2	14	1,5
» 260 » 360		2,0	0,25	3,0	0,35	4,0	0,50	6,0	0,7	8,0	0,90	12,0	1,4	16	1,8
» 360 » 500		2,5	0,30	4,0	0,50	6,0	0,70	8,0	0,9	10,0	1,20	15,0	1,8	20	2,3

Продолжение табл. 3.1

Диапазоны размеров в мм		Ряды пределов допускаемых значений											
		VIII		IX		X		XI		XII		XIII	
		$\Delta_{\text{л}}$	$\delta_{\text{ин. л}}$	$\Delta_{\text{л}}$	$\delta_{\text{ин. л}}$	$\Delta_{\text{л}}$	$\delta_{\text{ин. л}}$	$\Delta_{\text{л}}$	$\delta_{\text{ин. л}}$	$\Delta_{\text{л}}$	$\delta_{\text{ин. л}}$	$\Delta_{\text{л}}$	$\delta_{\text{ин. л}}$
Св.	1 до 3	4	0,5	6	0,6	10	1,0	14	1,2	20	1,5	33	2,0
»	3 » 6	5	0,6	8	0,8	13	1,3	18	1,5	25	2,0	40	2,5
»	6 » 10	6	0,7	9	0,9	16	1,6	22	2,0	30	2,5	50	3,0
»	10 » 18	8	0,9	11	1,1	19	1,9	27	2,5	35	3,0	60	4,0
»	18 » 30	9	1,1	13	1,3	23	2,3	33	3,0	45	3,5	70	4,5
»	30 » 50	11	1,3	15	1,5	27	2,7	39	3,5	50	4,0	85	5,5
»	50 » 80	13	1,5	18	1,8	30	3,0	46	4,0	60	5,0	100	7,0
»	80 » 120	15	1,7	21	2,1	35	3,5	54	4,5	70	6,0	115	8,0
»	120 » 180	18	2,0	24	2,4	40	4,0	63	5,5	80	7,0	135	9,0
»	180 » 260	20	2,3	27	2,7	45	4,5	73	6,0	90	7,5	150	10,0
»	260 » 360	22	2,7	30	3,0	50	5,0	84	7,0	100	8,0	170	12,0
»	360 » 500	25	3,0	35	3,5	60	6,0	95	8,0	120	10,0	190	14,0
												250	17,0

Примечание. Допуски измеряемых величин $\Delta_{\text{л}}$ в мкм, указанные в таблице, соответствуют: с I по VIII ряд — допускам для классов точности 02—03 (ГОСТ 11472—69); IX—XII, XIV рядов — классам точности 1—3а; допуски XIII ряда — допускам $Ш_3$.

ТАБЛИЦА 3.2

Допускаемые значения выхода действительной инструментальной погрешности за предел допускаемой основной погрешности (для угловых измерений)

Диапа- зоны длин меньшей стороны угла в мм	Ряды пределов допускаемых значений $\delta_{ин.у}$ для степеней точности по ГОСТ 8908—58									
	1		2		3		4		5	
	Δ_y	$\delta_{ин.у}$	Δ_y	$\delta_{ин.у}$	Δ_y	$\delta_{ин.у}$	Δ_y	$\delta_{ин.у}$	Δ_y	$\delta_{ин.у}$
До 3	80"	9"	2'	13"	3'	20"	5'	33"	8'	53"
Св. 3 до 5	60"	7"	1' 40"	10"	2' 30"	17"	4'	27"	6'	40"
Св. 5 до 8	50"	6"	80"	9"	2'	13"	3'	20"	5'	33"
Св. 8 до 12	40"	4"	60"	7"	1' 40"	10"	2' 30"	17"	4'	27"
Св. 12 до 20	30"	3"	50"	6"	80"	9"	2'	13"	3'	20"
Св. 20 до 32	24"	3"	40"	4"	60"	7"	1' 40"	10"	2' 30"	17"
Св. 32 до 50	20"	2"	30"	3"	50"	6"	80"	9"	2'	13"
Св. 50 до 80	16"	2"	24"	3"	40"	4"	60"	7"	1' 40"	10"
Св. 80 до 120	12"	1"	20"	2"	30"	3"	50"	6"	80"	9"
Св. 120 до 200	10"	1"	16"	2"	24"	3"	40"	4"	60"	7"
Св. 200 до 320	8"	1"	12"	1"	20"	2"	30"	3"	50"	6"
Св. 320 до 500	6"	1"	10"	1"	16"	2"	24"	3"	40"	4"

для направления линии измерения и ориентации средств и объектов измерения: $\pm 1^\circ$ для рядов I—III; $\pm 2^\circ$ — для рядов IV—VIII и $\pm 5^\circ$ для рядов IX—XIV. При угловых измерениях — для положения плоскости измерения угла и ориентации средств и объектов измерения: $\pm 0,5^\circ$ для 1—2-го рядов и $\pm 1,5^\circ$ для 3—5-го рядов.

Пределы допускаемых отклонений температуры объекта измерения и рабочего пространства от нормального значения в процессе всего измерения (при линейных измерениях) должны соответствовать табл. 3.3.

При угловых измерениях пределы допускаемого отклонения температуры от нормального значения равны $\pm 3,5^\circ \text{C}$.

Стандарт также устанавливает пределы допускаемой нестационарной составляющей разности температур в любых двух точках, изменения температуры в любой точке рабочего пространства и находящихся

ТАБЛИЦА 3.3

Допускаемые отклонения температуры

Диапазон размеров в мм	Отклонения температуры \pm °C для рядов					
	I	II	III	IV—VIII	IX—XI	XII—XIV
Св. 1 до 18	0,5	0,8	1	1,5	3	4
» 18 » 50	0,2	0,3	0,5	1	2	3
» 50 » 500	0,1	0,2	0,3	0,5	1	2

в нем поверхностей объекта и средств измерений. С целью соблюдения нормальных условий измерения стандарт устанавливает, что объекты измерения не рекомендуется помещать в рабочее пространство с отклонением температуры на поверхности от нормальной более 1,5° C при выполнении измерений по рядам I—III; 2,5° C — по рядам IV—VIII; 3,5° C — по рядам IX—XI; 5° C — по рядам XII—XIV. Время последующей выдержки объектов в рабочем пространстве в условиях, соответствующих требованиям, указанным в табл. 3.3, до начала измерений должно быть не менее указанного в табл. 3.4.

ТАБЛИЦА 3.4

Время выдержки объектов в рабочем пространстве

Масса объекта измерения в кг	Время выдержки в ч для рядов			
	I—III	IV—VIII	IX—XI	XII—XIV
До 10	6	4	3	2
Св. 10 до 50	14	8	6	4
» 50 » 200	24	14	10	7
» 200 » 500	36	20	16	12

В отдельных случаях, при невозможности соблюдения температурных условий, результаты линейных измерений должны приводиться к нормальной температуре.

Погрешность измерения, вызываемая нарушением температурных условий, определяется по формуле

$$\Delta l = l (\alpha_1 \Delta t_1 - \alpha_2 \Delta t_2),$$

где Δl — температурная погрешность измерения; l — измеряемый размер (длина); α_1 и α_2 — коэффициенты линейного расширения измеряемого объекта и средства измерений, соответственно; Δt_1 и Δt_2 — отклонения температуры измеряемого объекта и средства измерений от нормальной (20° C).

Значения α в мкм на 1 м и 1° С различных материалов для интервала температур от 0 до 100° С:

Алюминий	24	Никель	13
Алюминиевые спла- вы	20—26	Олово	23—27
Бронза	17—19	Пенопласт	70—80
Бакелит	37—60	Платина	9
Висмут	13,4	Платино-иридий (Pt 90%—Ir 10%)	9
Вольфрам	3,4	Плексиглас	90—130
Гетинакс	20	Полистирол	68
Дерево	3—9	Свинец	29,2
Дюралюминий	22,6	Сера	9
Железо электроли- тическое	12,5	Серебро	19—20
Золото	14,4	Сталь незакаленная	11,5
Инвар	1—2	Сталь закаленная	12
Иридий	6,6	Сталь хромансил	11
Искусственные смо- лы	37—60	Сталь жароупорная	16
Кварц	8—14	Стекло	3—11
Кобальт	12,7	Твердые сплавы	10—17
Константан	15,2	Текстолит	23—41
Латунь	18—19	Фарфор	3
Магний	26	Феррит	5—10
Магниеые сплавы	24—27	Хром	8
Медь	14—18	Целлулоид	10—16
Монолит	25—45	Цементный раствор	12,6
Нейзильбер	18	Цинк	16—30
Неоконденсит	20—35	Чугун	10—12
		Электрон	28,5
		Этрол	12—16

Например, сталь незакаленная имеет коэффициент линейного расширения $\alpha = 11,5 \cdot 10^{-6}$ м на 1° С.

Пример 1. Измеряемый размер $l = 0,2$ м; материал измеряемого изделия — латунь, $\alpha_1 = 18 \cdot 10^{-6}$; температура изделия $t_1 = 10^\circ \text{С}$; материал средства измерения — сталь, $\alpha_2 = 12,0 \cdot 10^{-6}$, температура средства измерения $t_2 = 15^\circ \text{С}$; t_n — нормальная метрическая температура. Погрешность измерения, вызываемая отклонениями температуры изделия и средства измерения от нормальной

$$\Delta l_t = l [\alpha_1 (t_1 - t_n) - \alpha_2 (t_2 - t_n)] = 0,2 \cdot 10^{-6} (-180 + 60) = 24 \text{ мкм.}$$

ГОСТ 8.050—73 регламентирует частоту возмущающих гармонических вибраций, действующих на средства измерений, допустимые отклонения давления окружающего воздуха, его запыленность (количество твердых частиц в кубическом метре), отклонения влажности ($\pm 20\%$), уровень шума, напряженность магнитного поля.

В соответствии со стандартом погрешность средства измерения, вызываемая контактными деформациями в месте соприкосновения измерительного наконечника с измеряемым объектом, не должна превышать $1/10$ допускаемой по табл. 3.1, что должно обеспечиваться правильным выбором материала и формы измерительных поверхностей и нормированием измерительного усилия.

Форма измерительных поверхностей выбирается в зависимости от задач измерения и формы измеряемого объекта.

Если необходимо определить размер детали в определенном месте, сечении, то соприкосновение измеряемых и измерительных поверхностей должно происходить для каждой пары поверхностей в одной точке. Так, размер между двумя плоскими поверхностями должен измеряться с помощью сферических измерительных наконечников; диаметры

наружных цилиндрических поверхностей должны измеряться с помощью ленточных или сферических измерительных наконечников; диаметры внутренних цилиндрических поверхностей — с помощью сферических наконечников.

Если необходимо определить действующий размер детали, которая должна сопрягаться с соответствующей контрдеталью (например, вал с отверстием), измеряемые и измерительные поверхности должны быть сопряженными: плоские — для плоских соединений, наружные цилиндрические измерительные поверхности — для цилиндрических отверстий, и наоборот.

Значение измерительного усилия и его постоянство нормируются стандартами на средства измерений.

Погрешность отсчитывания, непосредственно связанная с глазомерной оценкой совпадения штрихов или доли деления шкалы, зависит от качества выполнения и конструкции отсчетного устройства, квалификации оператора и освещенности шкалы.

Глаз человека способен отдельно воспринимать точечные объекты, отстоящие друг от друга на 0,06—0,075 мм. Наиболее благоприятные условия наблюдения: черные штрихи на светлом поле. Освещенность рабочего пространства должна, в соответствии со стандартом, находиться в пределах, приведенных в табл. 3.5.

ТАБЛИЦА 3.5

Нормы освещенности рабочего пространства

Вид отсчетного устройства	Освещенность в лк	
	Общее освещение	
	при люминесцентных лампах	при лампах накаливания
Окулярное, экранное, шкала на светлом фоне со световым указателем	150—250	50—150
Шкала на светлом фоне со стрелкой	300—500	150—300
» темном фоне (металлическом)	500—750	300—500

Примечание. Ширина деления шкалы — в пределах 1—2,5 мм; наблюдение значений, близких к половине или целому делению шкалы; наблюдение перекрывающихся штрихов; наименьшее расстояние между штрихами шкалы и указателя в направлении, перпендикулярном плоскости шкалы, что непосредственно связано с погрешностью от параллакса [3].

5. ТОЧНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТА ИЗМЕРЕНИЯ

Показатели точности измерений

ГОСТ 8.011—72 «ГСИ. Показатели точности измерений и формы представления результатов измерений», введенный с 1/1 1973 г., устанавливает следующие показатели точности измерений:

интервал, в котором погрешность измерения находится с заданной вероятностью;

*

интервал, в котором систематическая составляющая погрешности измерения находится с заданной вероятностью;

числовые характеристики систематической составляющей погрешности измерения;

числовые характеристики случайной составляющей погрешности измерения;

функция распределения (плотность вероятности) систематической составляющей погрешности измерения;

функция распределения (плотность вероятности) случайной составляющей погрешности измерения.

Способы выражения точности измерения

Точность измерения, согласно ГОСТ 8.011—72, должна выражаться одним из следующих способов:

а) интервалом, в котором с установленной вероятностью находится суммарная погрешность измерения;

б) интервалом, в котором с установленной вероятностью находится систематическая составляющая погрешности измерения, стандартной аппроксимацией функции распределения случайной составляющей погрешности измерения и средним квадратическим ее отклонением;

в) стандартными аппроксимациями функций распределения систематической и случайной составляющих погрешности измерения и их средними квадратическими отклонениями;

г) функциями распределения систематической и случайной составляющих погрешности измерения.

Выбор того или иного способа выражения точности определяется назначением измерения, характером использования его результатов и регламентируется соответствующими нормативно-техническими документами.

При производственном контроле размерно-геометрических параметров деталей и узлов в машиностроении наибольшее применение имеет способ выражения точности измерения интервалом, в котором находится суммарная погрешность измерения. Однако при исследовании и внедрении новых методов и средств измерений, при определении оптимальных способов организации контроля, в частности в случае введения выборочного контроля, при использовании результатов измерений для регулирования технологического процесса применимы и остальные из указанных способов выражения точности измерения.

Нормы представления результатов измерений

ГОСТ 8.011—72 устанавливает формы представления точности измерения в зависимости от способа ее выражения. В частности, при выражении точности измерения интервалом, в котором находится с установленной вероятностью суммарная погрешность измерения, стандарт устанавливает следующую форму представления результатов измерения:

$$A; \Delta \text{ от } \Delta_n \text{ до } \Delta_v; P,$$

где A — результат измерения в единицах измеряемой величины; Δ — суммарная погрешность измерения; Δ_n и Δ_v — нижняя и верхняя границы суммарной погрешности измерения; P — установленная вероятность, с которой погрешность измерения находится в этих границах.

Пример 2. Результаты измерения 21,5 мм; Δ от $-0,1$ до $+0,2$ мм; $P = 0,99$.

При выражении точности измерения способом (б), см. выше, стр. 452, стандарт устанавливает следующую форму представления результата измерения:

Δ_c ; Δ_{ch} ; $\Delta_{св}$ — соответственно систематическая составляющая погрешности измерения и ее нижняя и верхняя границы в единицах измеряемой величины;

P_e — заданная вероятность, с которой систематическая составляющая погрешности находится в этих границах;

$\tilde{\sigma}$ (Δ) — оценка среднего квадратического отклонения случайной составляющей погрешности измерения в единицах измеряемой величины;

$f_{\Delta}^{ст}$ (ξ) — стандартная аппроксимация функции распределения случайной составляющей погрешности измерения.

Пример 3. Результаты измерения 10,75 мм; Δ_c от 0,15 до 0,23 мм; $P_c = 0,95$; $\tilde{\sigma}$ (Δ) = 0,10 мм; равн. (равномерное распределение).

В приложении к ГОСТ 8.011—72 дана таблица стандартных аппроксимаций функций распределения.

Формы представления результата измерения для остальных способов выражения его точности [см. выше, (в) и (г)] являются менее применимыми и в практике производственного контроля не встречаются.

Обработка данных измерений

В условиях заводских лабораторий встречается необходимость проведения достаточно точных измерений для различных целей, ввиду чего следует использовать современные методы обработки данных измерений. Так как любое измерение сопровождается погрешностями, рекомендуется для исключения грубых погрешностей и повышения точности результата измерения проводить не одно, а серию измерений. Желательно, чтобы n отдельных единичных измерений было не менее трех.

Полученные отдельные единичные значения измеряемой величины обозначаются x_1, x_2, \dots, x_n . Разница между значениями, полученными при измерении объекта в разных местах (сечениях, направлениях), может характеризовать отклонения формы, а не точность измерения. Поэтому повторные единичные измерения следует производить в одном и том же месте, стремясь сохранить условия измерения неизменными. В этом случае единичные измерения можно предполагать равноточными (однородными).

За действительное значение A измеряемой величины приближенно принимается среднее арифметическое \bar{X} из полученных при измерении отдельных единичных измерений.

Это выборочное среднее называют результатом измерений. Если известно, что систематическая погрешность λ не изменялась в процессе измерений, то при вычислении результата можно вычислить среднее

арифметическое, а затем исключить из него систематическую погрешность, т. е.

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i - \lambda,$$

где n — число единичных измерений; x_i — результат единичного измерения.

В противном случае следует исключить систематическую погрешность из каждого единичного измерения, т. е.

$$x_i = u_i - \lambda_i;$$

и затем вычислить среднее арифметическое.

Доброкачественность проведенных измерений определяется отсутствием среди них грубых погрешностей.

Для исключения из ряда измерений грубых погрешностей отбирают единичные измерения с наиболее отклоняющимся от остальных значением x_{\max} или x_{\min} и вычисляют отклонение от среднего арифметического:

$$v_{\max} = \frac{x_{\max} - \bar{X}}{S}; \quad v_{\min} = \frac{\bar{X} - x_{\min}}{S};$$

где S — среднее квадратическое отклонение ряда.

Затем находят теоретическое значение параметра v_p в зависимости от n и выбираемой вероятности по табл. 7 приложения 2.

Если $v_{\max} \geq v_p$ или $v_{\min} \geq v_p$, то это измерение следует считать грубым и отбросить. В отношении другого какого-либо единичного измерения можно поступить так же, но уже для сокращенного ряда измерений. Затем вновь вычисляются \bar{X} и S .

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}.$$

Исключение систематической составляющей погрешности измерения. Систематическая составляющая погрешности измерения может быть исключена различными методами [3, 5].

1. Метод введения поправок, основанный на изучении погрешностей и введении соответствующих поправок (предварительная поверка и аттестация мер и измерительных приборов или использование их аттестатов, учет погрешностей шкал, наборов мер и температурных условий).

2. Метод сравнения с образцом, заключающийся в том, что одним и тем же средством измерений в одних и тех же условиях измеряется и объект, и заранее аттестованный образец. Образец при этом должен иметь ту же геометрическую форму, размер и другие физические качества.

3. Метод компенсации погрешности по знаку — постановка наблюдений таким образом, чтобы погрешность вошла в результат измерения один раз с одним знаком, другой раз — с обратным. Характерным примером является применение так называемой «контровки».

т. е. постановки измерительного прибора и измеряемого (или поверяемого) объекта в два противоположных относительно друг друга положения (контрположения). Например, при измерении отклонения объекта (плиты, станины и т. п.) от горизонтального положения измерительный прибор — уровень ставят на объект в два положения, т. е. с поворотом на 180°. При этом исключается систематическая погрешность уровня, так как полусуммы (алгебраическая) показаний уровня дает действительное отклонение объекта (без систематической погрешности уровня). Полуразность же показаний дает значение систематической погрешности уровня. Аналогичный прием применяется при проверке линейек, угольников и т. д.

4. Метод симметричных наблюдений при прогрессивных погрешностях, заключающийся в повторении наблюдений в обратном порядке. Этот прием позволяет убедиться, не произошло ли в процессе измерения изменений в самих измерительных приборах или во внешних условиях, могущих оказать влияние на показания.

5. Метод наблюдения четное число раз через полупериоды, позволяющий исключить периодическую погрешность. Для этого берется среднее из двух отсчетов, произведенных через интервал, равный полупериоду величины, определяющей значение периодической погрешности. Например, для исключения погрешности от эксцентриситета шкалы кругового лимба угломерные приборы снабжают парой нокаутов, расположенных в диаметрально противоположных точках лимба. Так устроены современные теодолиты и аналогичные приборы.

Оценка случайной составляющей погрешности измерения. Случайная составляющая погрешности измерения оценивается аппроксимацией функции распределения и средним квадратическим отклонением.

ГОСТ 8.011—72 регламентирует следующие стандартные аппроксимации функций распределения: нормальную, треугольную, трапециевидную, равномерную, антимодальные (I и II) и Релея (Максвелла). В практике линейных и угловых измерений наиболее приложим закон нормального распределения; при использовании шкальных приборов приложимо равномерное распределение и в меньшей степени треугольное, которое возникает при суммировании двух независимых случайных величин, распределенных по равномерному закону. Функция Релея охватывает распределение величин эксцентриситета (несоосности) и биения, непараллельности, конусности и др. (см. главу пятнадцатую).

Если не представляется возможность предположить более или менее уверенно функцию распределения случайных погрешностей, возникших в рассматриваемых измерениях, то следует провести увеличенное количество отдельных единичных измерений и их обработку с целью выявления закономерностей распределения показаний.

Среднее квадратическое отклонение результата измерения является параметром функции распределения и подсчитывается по формуле

$$S_{\bar{X}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}. \quad (3.1)$$

Пользуясь этой формулой, можно из ряда произведенных измерений найти среднее квадратическое отклонение результата измерения. Но эта оценка имеет относительный характер, так как зависит от выбранного числа n .

Принято считать, что при нескольких десятках единичных измерений случайная составляющая погрешности данного ряда измерений не превышает по абсолютной величине $3S$.

При сравнительно небольшом числе измерений ($3 \leq n < 20$) наиболее обоснованно пользоваться таблицей Стюдента—Фишера (см. приложение 1, табл. 5), в которой даны квантили t_0 , зависящие от числа степеней свободы $K = n - 1$ и заданной вероятности P . Для производственных измерений рекомендуется $P = 0,95$; для исследовательских целей и при ответственных лабораторных измерениях рекомендуется $P = 0,98$ и $P = 0,99$.

Исходя из выбранного числа измерений n и принятой вероятности P , находят по таблице Стюдента—Фишера коэффициент t_0 и подсчитывают случайную составляющую погрешности измерения ε :

$$\varepsilon = t_0 S_{\bar{X}}. \quad (3.2)$$

Суммарная погрешность результата прямых равноточных измерений постоянной величины. За результат измерения постоянной величины, действительное значение которой остается неизвестным, принимается среднее арифметическое из ряда отдельных равноточных измерений этой величины:

$$A \approx \bar{X}.$$

Это приближенное равенство можно оценить, указав границы, в которых с установленной вероятностью находится значение A :

$$P[(\bar{X} - \varepsilon) < A < (\bar{X} + \varepsilon)].$$

При этом предполагается, что систематические погрешности исключены из результатов измерения. Тогда окончательно

$$A = \bar{X} \pm \varepsilon; P,$$

или при несимметричном расположении границ погрешности $A = \bar{X}$; в границах Δ_v и Δ_n ; P .

Если систематические погрешности исключены не полностью или совсем не исключены, но известны пределы их возможных (допускаемых) значений (например, известен класс точности измерительного прибора и, следовательно, предел его допускаемой погрешности), то они должны учитываться в суммарной погрешности результата измерений как случайные. В этом случае они квадратично суммируются со случайной составляющей. Тогда

$$A = \bar{X} \pm \sqrt{\varepsilon^2 + \gamma^2}; P,$$

где γ — неучтенные систематические погрешности, перешедшие в разряд случайных.

Окончательно

$$A = \bar{X} + \sum q \pm \sqrt{\varepsilon^2 + \gamma^2}; P,$$

где q — систематические погрешности, учитываемые поправками.

Пример 4. В производственных условиях произведены четыре измерения диаметра вала микрометром нулевого класса. Показания микрометра записаны в таблицу.

№ измерения	Показания x_i	$x_i - \bar{X}$	$(x_i - \bar{X})^2$
1	7,970	-0,001	$1 \cdot 10^{-6}$
2	7,975	+0,004	$16 \cdot 10^{-6}$
3	7,965	-0,006	$36 \cdot 10^{-6}$
4	7,974	+0,003	$9 \cdot 10^{-6}$

$$\sum x_i = 31,884; \sum (x_i - \bar{X})^2 = 62 \cdot 10^{-6};$$

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum x_i = \frac{31,884}{4} = 7,971 \text{ мм.}$$

Для того чтобы найти погрешность результата измерения Δ , вычислим среднюю квадратическую погрешность результата измерения по формуле (3.1)

$$S_{\bar{X}} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{X})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{62 \cdot 10^{-6}}{4 \cdot 3}} = \pm 0,0023 \text{ мм.}$$

По таблице (см. приложение 1, табл. 5), принимая надежность измерения $P = 1 - 0,05 = 0,95$, находим, что для $n = 4$, $K = 3$, $t_0 = 3,182$.

Случайная составляющая погрешности результата измерения по формуле (3.2)

$$\varepsilon = 3,182 (\pm 0,0023) = \pm 0,0073 \text{ мм.}$$

Так как в данном случае микрометр не аттестован, а известен лишь его класс, то должен быть учтен предел допускаемой погрешности микрометров нулевого класса (глава четвертая) $\Delta_d = \pm 0,002 \text{ мм.}$

Следовательно, суммарная погрешность результата

$$\Delta = \sqrt{\varepsilon^2 + \Delta_d^2} = \sqrt{0,0073^2 + 0,002^2} = \pm 0,0076 \text{ мм.}$$

Измеряемый размер вала $d = 7,971 \pm 0,008 \text{ мм; } P = 0,95$.

Результат косвенного измерения можно представить как функцию независимых переменных

$$y = f(x_1; x_2; x_3; \dots; x_n),$$

где независимыми переменными являются результаты прямых измерений.

Погрешность результата косвенного измерения определяется суммой частных дифференциалов по всем переменным. Приравнявая погрешности дифференциалам, можно написать

$$\Delta y = \frac{\partial y}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial y}{\partial x_2} \Delta x_2 + \frac{\partial y}{\partial x_3} \Delta x_3 + \dots + \frac{\partial y}{\partial x_n} \Delta x_n.$$

Частные дифференциалы выражают весовые коэффициенты составляющих погрешностей, т. е. долю участия каждой составляющей в суммарной погрешности. Для систематических составляющих погрешностей весовые коэффициенты сохраняют алгебраические знаки частных дифференциалов; для случайных составляющих погрешностей знаки утрачиваются.

6. ПРИНЦИПЫ ВЫБОРА ТОЧНОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ [4, 6]

Результаты измерений могут быть использованы для разных целей: при исследовательских и поверочных работах для оценки погрешностей как самих средств и методов измерений, так и разрабатываемых и исследуемых приборов, механизмов, машин, процессов и т. п.; при приемочном контроле — для оценки качества принимаемых деталей, заготовок, узлов и аппаратов; при технологическом контроле (в том числе активном — управляющем) для настройки и поддержания технологического процесса на должном точностном уровне.

Во всех случаях использования результатов измерений необходимо правильно выбрать средства измерений, сопоставив ожидаемую (расчетную) погрешность результата с допуском или заданным значением измеряемого параметра (длины, диаметра, угла, отклонения формы и т. п.).

Для выбора средств и методов измерений линейных размеров от 1 до 500 мм при приемке изделий ГОСТ 8.051—73 устанавливает допускаемые погрешности измерений ($\delta_{изм}$) в зависимости от допуска на изготовление изделия $\Delta_{изд}$ и номинального измеряемого размера.

Стандарт предусматривает 15 рядов точности для валов и отверстий классов от 06 до 9-го. В допускаемые погрешности измерений (табл. 3.6 и 3.7) включены погрешности средств измерений, установочных мер, температурных деформаций, базирования и т. д.

П р и м е ч а н и е. Значения размеров, полученных при измерениях с погрешностью, не превышающей пределы допускаемой погрешности измерения, принимаются за действительные.

Примеры объектов измерений, в соответствии с рекомендациями табл. 3.6, приведены в табл. 3.8.

При исследовательских работах рассчитывают ожидаемую погрешность с учетом применения тех или иных средств и условий измерений, и если ожидаемая погрешность не превышает предела допускаемой для измерения данного параметра (по табл. 3.6), то выбранные средства и условия измерения пригодны. В противном случае необходимо выбрать более точные методы и средства измерений. При этом следует учитывать, что пределы допускаемых погрешностей измерения включают случайные и неучтенные систематические погрешности измерения. Случайная составляющая погрешности измерения при приемке изделий не должна превышать 0,6 от предела допускаемой погрешности измерения с доверительной вероятностью 0,954 ($\pm 2\sigma$).

ТАБЛИЦА 3.6
Пределы допускаемых погрешностей измерений в мкм по стандартной системе допусков и посадок

Ряды пределов допускаемых погрешностей измерения		Номинальные размеры в мм												
		Св. до 1	Св. до 3	Св. до 6	Св. до 10	Св. до 18	Св. до 30	Св. до 50	Св. до 80	Св. до 120	Св. до 180	Св. до 260	Св. до 360	Св. до 500
1	$\Delta_{изд}$ $\delta_{изм}$	1,2 0,4	1,5 0,5	1,5 0,5	2 0,7	2 0,8	2,5 0,8	3 1	4 1,4	5 1,7	7 2,4	8 2,8	10 3,5	
2	$\Delta_{изд}$ $\delta_{изм}$	2 0,7	2,5 0,8	2,5 0,8	3 1	4 1,4	4 1,4	5 1,7	6 2	8 2,8	10 3,5	12 4	15 5	
3	$\Delta_{изд}$ $\delta_{изм}$	3 1,0	4 1,4	4 1,4	5 1,7	6 2	7 2,4	8 2,8	10 3,5	12 4	14 4,5	16 5,5	20 7	
4	$\Delta_{изд}$ $\delta_{изм}$	4 1,4	5 1,7	6 2	8 2,8	9 3	11 4	13 4,5	15 5	18 6	20 7	23 8	27 9	
5	$\Delta_{изд}$ $\delta_{изм}$	6 1,8	8 2,5	9 2,5	11 3	13 4	15 4,5	18 5,5	21 6	24 7	27 8	30 9	35 11	

Продолжение табл.3.6

Ряды пределов допускаемых погрешностей измерения		Номинальные размеры в мм											
		св. до 3	св. до 6	св. до 10	св. до 18	св. до 30	св. до 50	св. до 80	св. до 120	св. до 180	св. до 260	св. до 360	св. до 500
6	$\Delta_{изд}$	10	13	16	19	23	27	30	35	40	45	50	60
	$\delta_{изм}$	3	4	5	6	7	8	9	11	12	13	15	18
7	$\Delta_{изд}$	14	18	22	27	33	39	46	54	63	73	84	95
	$\delta_{изм}$	3,5	4,5	5,5	7	8	10	11	13	16	18	20	25
8	$\Delta_{изд}$	20	25	30	35	45	50	60	70	80	90	100	120
	$\delta_{изм}$	5	6	7	8	11	12	15	17	20	20	25	30
9	$\Delta_{изд}$	33	40	50	60	70	85	100	115	135	150	170	190
	$\delta_{изм}$	6	8	10	12	14	15	20	20	25	30	35	40
10	$\Delta_{изд}$	40	48	58	70	84	100	120	140	160	185	215	250
	$\delta_{изм}$	8	10	12	15	15	20	25	30	30	40	40	50

Продолжение табл. 3.6

Ряды пределов допускаемых погрешностей измерения		Номинальные размеры в мм												
		св. до 3	св. до 6	св. до 10	св. до 18	св. до 30	св. до 50	св. до 80	св. до 120	св. до 180	св. до 260	св. до 360	св. до 500	
11	$\Delta_{изд}$ $\delta_{изм}$	60 12	80 15	100 20	120 25	140 30	170 30	200 40	230 40	260 50	300 60	340 70	380 70	
12	$\Delta_{изд}$ $\delta_{изм}$	120 25	160 30	200 40	240 50	280 60	340 60	400 80	460 90	530 100	600 120	680 140	760 150	
13	$\Delta_{изд}$ $\delta_{изм}$	250 50	300 60	360 70	430 80	520 100	620 120	740 150	870 170	1000 200	1150 200	1350 250	1550 300	
14	$\Delta_{изд}$ $\delta_{изм}$	400 80	480 100	580 100	700 150	840 150	1000 200	1200 250	1400 250	1600 300	1900 400	2200 400	2500 500	
15	$\Delta_{изд}$ $\delta_{изм}$	600 120	750 150	900 200	1100 200	1300 250	1600 300	1900 400	2200 400	2500 500	2900 600	3300 600	3800 700	

ТАБЛИЦА 3.7
Пределы допускаемых погрешностей измерений в мкм для допусков по системе допусков и посадок ИСО

Квалитеты ИСО		Номинальные размеры в мм													
		св. до 3	св. до 6	св. до 10	св. до 18	св. до 30	св. до 50	св. до 80	св. до 120	св. до 180	св. до 250	св. до 315	св. до 400	св. до 500	
2	Δизд	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	7	8	9	10	
	δизм	0,4	0,5	0,5	0,7	0,8	0,8	1	1,4	1,7	2,4	2,8	3	3,5	
3	Δизд	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15	
	δизм	0,7	0,8	0,8	1	1,4	1,4	1,7	2	2,8	3,5	4	4,5	5	
4	Δизд	3	4	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20	
	δизм	1	1,4	1,4	1,7	2	2,4	2,8	3,5	4	4,5	5,5	6	7	
5	Δизд	4	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27	
	δизм	1,4	1,4	2	2,8	3	4	4,5	5	6	7	8	9	9	
6	Δизд	6	8	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40	
	δизм	1,8	2,5	2,5	3	4	4,5	5,5	6	7	9	10	10	12	

Продолжение табл. 3.7

Квалитеты ИСО		Номинальные размеры в мм													
		св. до 3	св. до 6	св. до 10	св. до 18	св. до 30	св. до 50	св. до 80	св. до 120	св. до 180	св. до 250	св. до 315	св. до 400	св. до 500	
12	$\Delta_{изд}$ $\delta_{изм}$	100 20	120 20	150 30	180 35	210 40	250 50	300 60	350 70	400 80	460 90	520 100	570 100	630 120	
13	$\Delta_{изд}$ $\delta_{изм}$	140 30	180 35	220 40	270 50	330 70	390 80	460 90	540 100	630 120	720 140	810 150	890 170	970 200	
14	$\Delta_{изд}$ $\delta_{изм}$	250 50	300 60	360 72	430 80	520 100	620 120	740 150	870 170	1000 200	1150 200	1300 250	1400 250	1550 300	
15	$\Delta_{изд}$ $\delta_{изм}$	400 80	480 100	580 100	700 150	840 150	1000 200	1200 250	1400 250	1600 300	1850 350	2100 400	2300 450	2500 500	
16	$\Delta_{изд}$ $\delta_{изм}$	600 120	750 150	900 200	1100 200	1300 250	1600 300	1900 400	2200 400	2500 500	2900 600	3200 600	3600 700	4000 800	

ТАБЛИЦА 3.8

Объекты измерений по рядам точности

Ряды точности	Валы	Отверстия
1		Класс 0,6
2		» 0,7
3		» 0,8
4	1-й класс, кроме X_1	Класс 0,9
5	X_1 , 2-й класс, кроме $Гр$, X , $Л$, $Ш$, $ТХ$	1-й класс, кроме X_1
6	$Гр$, X , класс 2а, кроме X_{2a} , $Пр_{2a}$	X_1 , 2-й класс, кроме $Гр$, X , $Л$, $Ш$
7	$Л$, $Ш$, $ТХ$, X_{2a} , $Пр_{2a}$	X , $Гр$, класс 2а
8	3-й класс, кроме $Ш_3$	$Л$, $Ш$, $A_3 = C_3$, X_3
9		$Ш_3$
10		Класс 3а
11		4-й класс
12		5-й »
13		7-й »
14		8-й »
15		9-й »

При поверочных работах выбор средств измерений, метода и условий поверки регламентирован соответствующими стандартами или инструкциями Госстандарта СССР.

При приемочном контроле необходимо учитывать влияние погрешности измерения для установления приемочных границ — значений размеров, по которым производится приемка изделий. Приемочные границы устанавливаются либо правильным назначением предельных отклонений, т. е. выбором соответствующего класса точности или вида посадки, либо смещением предельных отклонений внутрь поля допуска, т. е. введением производственного допуска.

ГОСТ 8.051—73 рекомендует применение первого способа как более предпочтительного.

При введении производственного допуска величина смещения приемочных границ не должна превышать половины нормируемого предела допускаемой погрешности измерения у каждой границы.

Погрешность измерения при арбитражной перепроверке не должна превышать 30% предела погрешности, допускаемой при приемочном контроле.

При технологическом контроле (автоматическими или полуавтоматическими средствами измерений) с погрешностью от 4-го ряда или 4-го качества и грубее рекомендуется предел допускаемой погрешности принимать на один ряд точнее по сравнению с указанными в табл. 3.6

Продолжение табл. 3.9

[illegible]

Продолжение табл. 3.9

Объекты измерений		Размеры в мм													Допускаемая погрешность в % от допуска		
		Отвер-стия	Валы	Св. 500 до 630	Св. 630 до 800	Св. 800 до 1000	Св. 1000 до 1250	Св. 1250 до 1600	Св. 1600 до 2000	Св. 2000 до 2500	Св. 2500 до 3150	Св. 3150 до 4000	Св. 4000 до 5000	Св. 5000 до 6300		Св. 6300 до 8000	Св. 8000 до 10 000
7	Классы точности			360 1 800	400 2 000	440 2 200	480 2 400	520 2 600	600 3 400	700 3 500	800 4 000	900 4 500	1 000 5 000	1 100 5 500	1 300 6 500	1 400 7 000	20
				560 2 800	600 3 000	700 3 500	800 4 000	900 4 500	1 000 5 000	1 100 5 500	1 200 6 000	1 400 7 000	1 600 8 000	1 800 9 000	2 000 10 000	2 400 12 000	20
9				900 4 500	1 000 5 000	1 100 5 500	1 200 6 000	1 300 6 500	1 400 7 000	1 600 8 000	1 800 9 000	2 100 10 500	2 400 12 000	2 800 14 000	3 200 16 000	3 600 18 000	20
				1 400 7 000	1 600 8 000	1 800 9 000	2 000 10 000	2 200 11 000	2 400 12 000	2 600 13 000	3 000 15 000	3 400 17 000	3 800 19 000	4 400 22 000	5 200 26 000	6 000 30 000	20
11				2 200 11 000	2 400 12 000	2 600 13 000	3 000 15 000	3 400 17 000	3 800 19 000	4 200 21 000	4 800 23 000	5 200 26 000	6 000 30 000	7 000 35 000	8 000 40 000	9 000 45 000	20
				2 200 11 000	2 400 12 000	2 600 13 000	3 000 15 000	3 400 17 000	3 800 19 000	4 200 21 000	4 800 23 000	5 200 26 000	6 000 30 000	7 000 35 000	8 000 40 000	9 000 45 000	20

и 3.7. Увеличение предела допускаемой погрешности может быть допущено при следующих условиях:

- а) введении производственного допуска, учитывающего превышение допускаемой погрешности по сравнению с указанной в стандарте;
- б) межоперационных измерениях;
- в) сортировке на размерные группы для селективной сборки.

При допусках на изготовление ($\Delta_{изд}$), не соответствующих значениям, указанным в стандарте, пределы допускаемых погрешностей выбираются по ближайшему меньшему значению допуска для соответствующего номинального размера.

Рекомендации по выбору средств измерений размеров св. 500 до 10 000 мм в зависимости от вида и значений размеров и допусков, а также условий измерений [6], разработанные Ленинградским институтом точной механики и оптики (ЛИТМО) совместно с ВПТИЭлектро, охватывают отверстия и валы всех классов точности по стандартам, за исключением: отверстий 1-го класса точности размерами св. 1250 мм, 2-го класса точности размерами св. 3150 мм, класса точности 2а размерами св. 8000 мм; в а л о в 1 и 2-го классов точности размерами св. 500 до 4000 мм; в а л о в классов точности 1, 2 и 2а размерами св. 4000 мм.

Указанные исключения вызваны тем, что предельные погрешности измерений отверстий и валов перечисленных классов и размеров, по данным экспериментальных исследований, оказались больше допускаемых, приведенных в табл. 3.9 [6].

7. ВЛИЯНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ НА РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗБРАКОВКИ [4]

Влияние погрешности измерения (контроля) на результаты разбраковки оценивается параметрами:

m — количество деталей (в % от общего количества разбракованных), выходящих по размерам за допускаемые границы, но ошибочно принятых в число годных;

n — количество деталей (в % от общего количества разбракованных), находящихся по размерам в допускаемых границах, но ошибочно забракованных;

c — вероятностная предельная величина выхода размера за каждую границу допуска у неправильно принятых деталей.

Значения величин m , n и c приведены на графиках (рис. 3.1—3.3) при распределении контролируемых размеров по нормальному закону и на графиках (рис. 3.4—3.6) — при распределении по закону существенно положительных величин. При неизвестном законе распределения рекомендуется использовать рис. 3.1—3.3 для оценки параметров разбраковки при измерении отклонений размеров и рис. 3.4—3.6 — при измерении колебаний размеров (погрешности формы и расположения поверхностей).

На графиках сплошные линии соответствуют распределению погрешности измерений по нормальному закону, а пунктирные — по закону равной вероятности. При неизвестном законе распределения погрешности измерений рекомендуется принимать среднее значение между сплошной и пунктирной линиями.

Графики для параметров m и c даны с доверительной вероятностью 0,9973.

Погрешности измерений заданы (в %) на графиках величиной

$$A_{\text{мет}}(\sigma) = \frac{\sigma_{\text{мет}}}{\Delta_{\text{изд}}} 100,$$

где $\sigma_{\text{мет}}$ — среднее квадратическое отклонение распределения погрешности измерений; $\Delta_{\text{изд}}$ — допуск на контролируемый размер.

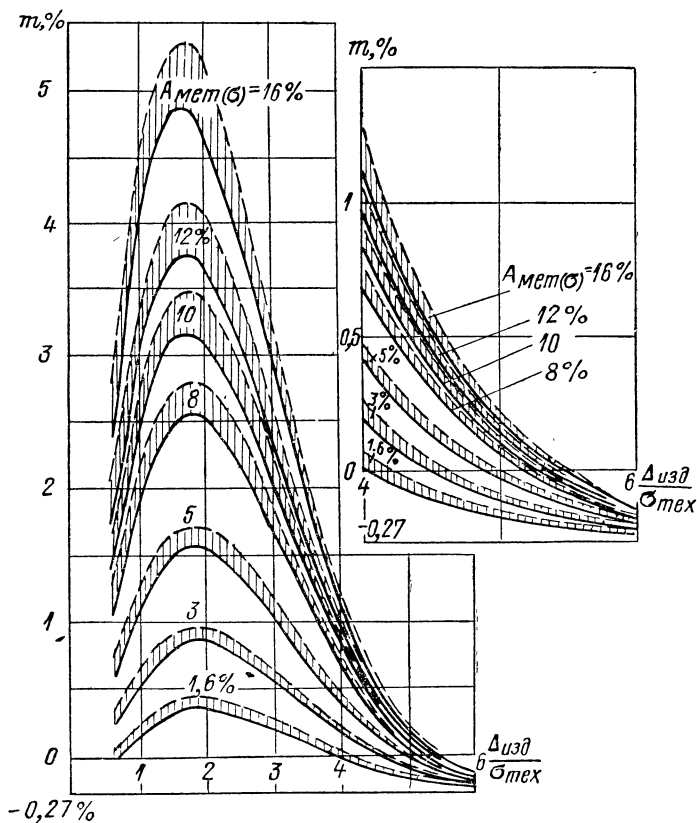


Рис. 3.1

При определении параметров разбраковки рекомендуется принимать $A_{\text{мет}}(\sigma) = 16\%$ — для рядов 1—6; 12% — для рядов 7—8 и 10% — для 9-го ряда и грубее.

Промежуточные значения погрешности измерений рассчитываются линейной интерполяцией.

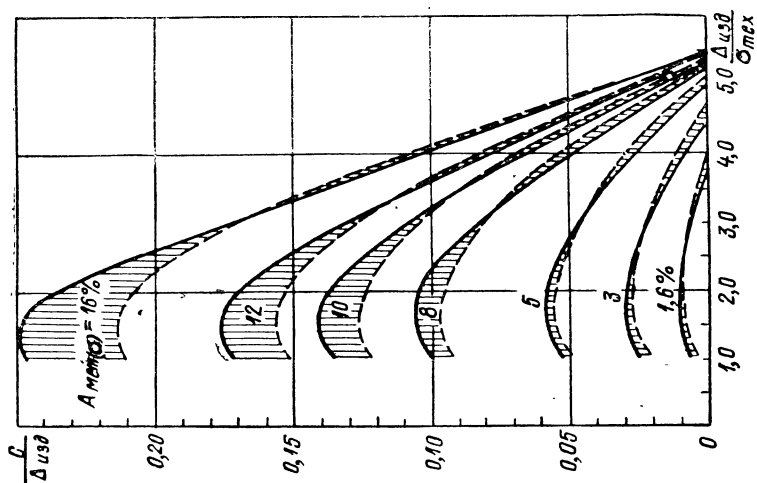


Рис. 3.3

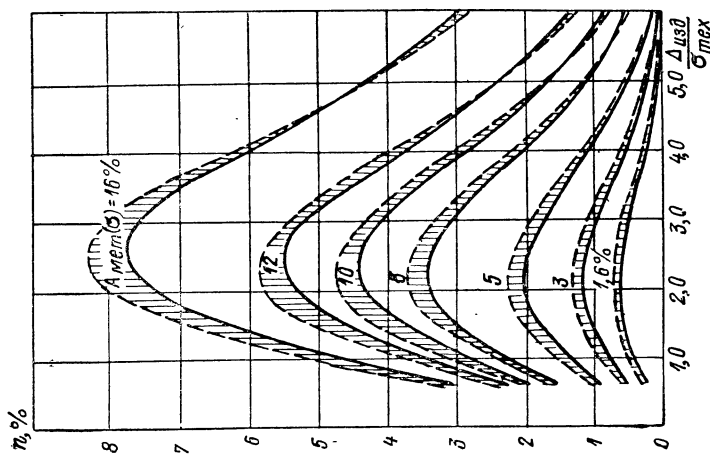


Рис. 3.2

Параметры разбраковки приведены на графиках в зависимости от относительной точности технологического процесса $\frac{\Delta_{изд}}{\sigma_{тех}}$, где $\sigma_{тех}$ — среднее квадратическое отклонение распределения погрешности изготовления.

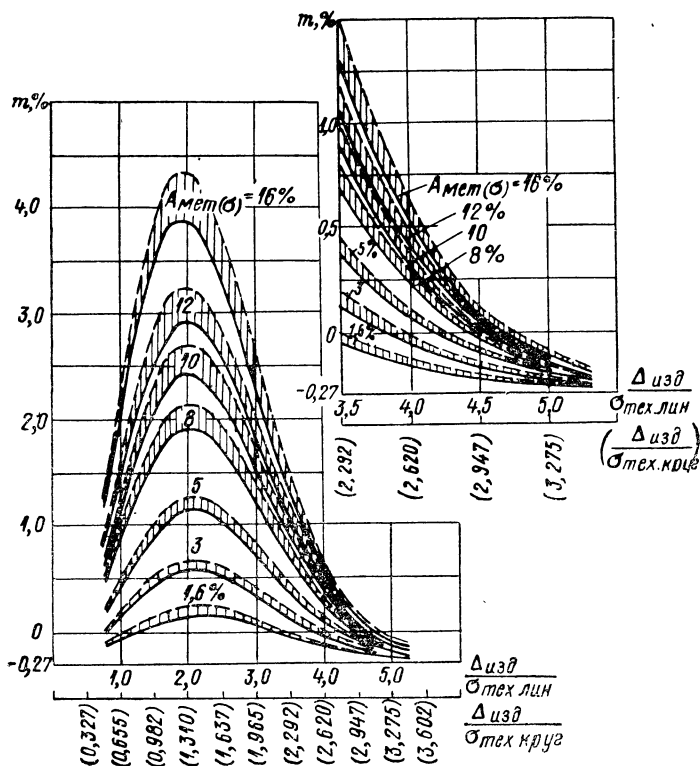


Рис. 3.4

На рис. 3.4—3.6 параметры разбраковки даны в зависимости от линейного и кругового среднего квадратического отклонения, которые связаны между собой уравнением

$$\sigma_{лин} = 0,655\sigma_{круг}$$

На рис. 3.1—3.3 параметры разбраковки даны при симметричном расположении допуска относительно центра группирования контролируемых деталей, а на рис. 3.4—3.6 — при совмещении начала координат распределения с нулевым отклонением.

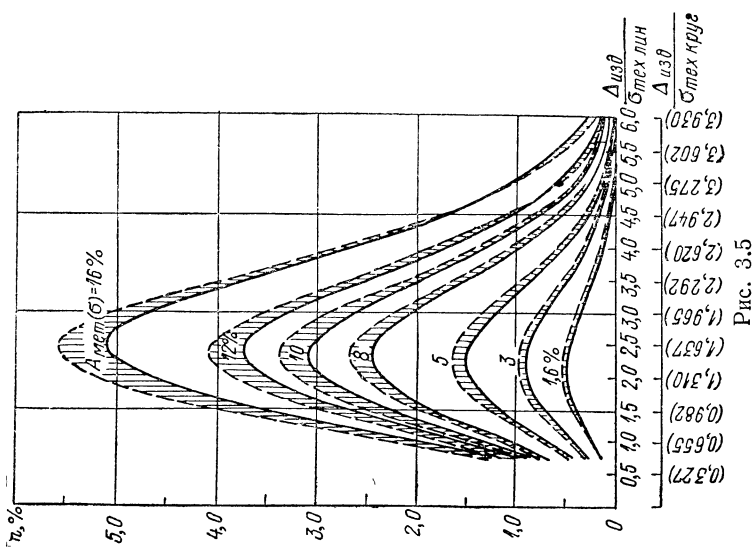
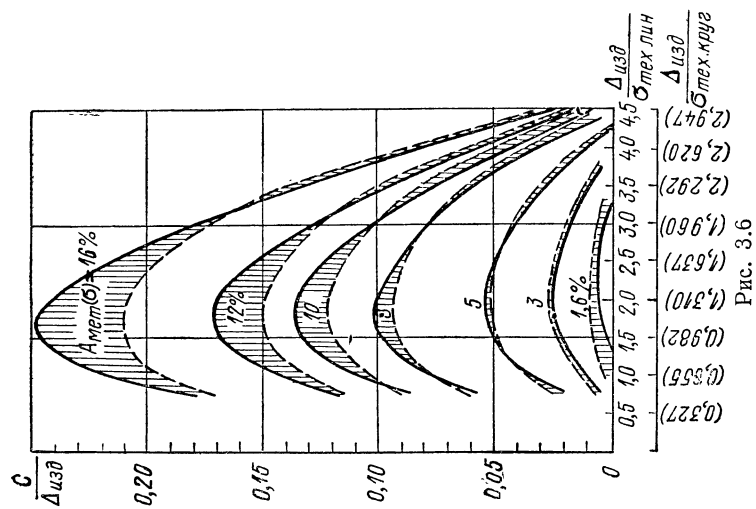


ТАБЛИЦА 3.10

Предельные значения параметров разбраковки
(по ГОСТ 8.051—73)

A _{мет} (σ)	Законы распределения измеряемых размеров					
	Нормальный (рис. 3.1—3.3)			Закон существенно положительных величин (рис. 3.4—3.6)		
	<i>t</i>	<i>n</i>	$\frac{c}{\Delta_{изд}}$	<i>t</i>	<i>n</i>	$\frac{c}{\Delta_{изд}}$
1,6	0,37—0,39	0,7—0,75	0,01	0,15—0,25	0,4—0,5	0,01
3	0,87—0,9	1,2—1,3	0,03	0,6—0,7	0,7—0,9	0,03
5	1,6—1,7	2,0—2,25	0,06	1,2—1,25	1,5—1,53	0,06
8	2,6—2,8	3,4—3,7	0,1	1,9—2,2	2,4—2,8	0,1
10	3,1—3,5	4,5—4,75	0,14	2,5—2,75	3,2—3,8	0,14
12	3,75—4,1	5,4—5,8	0,17	3,0—3,25	3,55—4,2	0,17
16	5,0—5,4	7,8—8,25	0,25	3,9—4,35	5,2—5,5	0,25

Примечания:
 1. Первые значения *t* и *n* соответствуют распределению погрешности измерений по нормальному закону; вторые — по закону равной вероятности.
 2. Предельные параметры разбраковки, указанные в таблице, учитывают влияние случайной составляющей погрешности измерений.

Возможные предельные значения параметров разбраковки, соответствующие экстремальным значениям кривых на графиках (рис. 3.1—3.6) приведены в табл. 3.10.

Список литературы

1. Бурдун Г. Д. Справочник по международной системе единиц. М., Издательство стандартов, 1971, 231 с.
2. Бурдун Г. Д., Марков Б. Н. Основы метрологии. М., Издательство стандартов, 1972, 318 с.
3. Маликов М. Ф. Основы метрологии. М., Комитет стандартов, мер и измерительных приборов при СМ СССР, 1949, 477 с.
4. Марков Н. Н., Кайнер Г. Б., Сацердотов П. А. Погрешности и выбор средств при линейных измерениях. М., «Машиностроение», 1967, 392 с.
5. Методы обработки результатов наблюдений при измерениях. Труды ВНИИМ им. Менделеева, вып. № 134 (194). М.—Л., Издательство стандартов, 1972, 118 с.
6. Размеры свыше 500 до 10 000 мм. Выбор методов и средств измерений. РТМ АА 686.041—70. Л., ВНИИТэлектро, 1970, 93 с.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ РАЗМЕРОВ

1. МЕРЫ ДЛИНЫ КОНЦЕВЫЕ ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ

Плоскопараллельные концевые меры длины предназначены для передачи размеров от длины основной световой волны до изделия. Они применяются для поверки и градуировки различных мер, калибров и приборов (образцовые меры), а также для точных измерений длин изделий, для точных разметочных работ, для наладки станков и т. п. (рабочие меры).

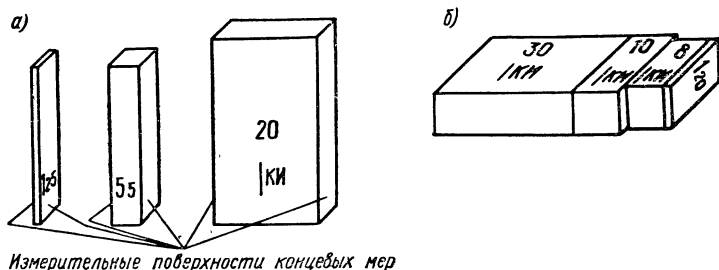


Рис. 4.1

Концевые меры имеют форму прямоугольного параллелепипеда с двумя плоскими взаимно параллельными измерительными поверхностями (рис. 4.1, а).

За длину концевой меры (в любой точке) принимается длина перпендикуляра, опущенного из данной точки измерительной поверхности меры на ее противоположную измерительную поверхность. Наибольшая по абсолютному значению разность между длиной меры в любой точке и номинальной длиной меры дает отклонение длины концевой меры от номинальной, а разность между наибольшей и наименьшей длинами меры характеризует отклонение от ее плоскопараллельности. Размеры сечения, параллельного измерительным поверхностям при номинальных длинах мер до 0,29 мм — 15×5 мм, св. 0,29 до 0,60 мм — 20×9 мм, св. 0,60 до 10 мм — 30×9 мм и св. 10 мм — 35×9 мм.

Концевые меры изготавливаются в соответствии с ГОСТ 9038—73¹ из высококачественной стали или ГОСТ 13581—68 — из твердого сплава.

¹ ГОСТ 9038—73 разработан в соответствии с рекомендацией СЭВ РС 2276—69 «Меры длины концевые плоскопараллельные. Технические требования».

Концевые меры длины комплектуются в наборы (табл. 4.1). Одно из основных свойств концевых мер, обеспечивающее их широкое применение,— это притираемость, т. е. способность прочно сцепляться между собой, а также с плоской стеклянной или кварцевой пластинами при прикладывании или надвигании одной меры на другую. С помощью притирки можно составить множество блоков концевых мер (рис. 4.1, б) через 0,001 мм. Блок следует составлять из возможно меньшего количества мер (не более 4—5). Для этого при подсчете длин концевых мер, включаемых в блок (см. пример), необходимо, чтобы первая мера содержала последний или два последних знака размера длины блока, вторая мера — последние знаки остатка и т. д.

Пример. Требуется составить блок длиной 74,725 мм. Длины концевых мер, входящих в блок, при использовании набора:

№ 1 или № 3	...	1,005;	1,22;	2,5 и 70 мм;
№ 2	...	1,005;	1,02;	1,7; 1 и 70 мм.

С обеих сторон блока рекомендуется притирать защитные меры, причем стороны защитных мер, на которых нанесены значения их номинальных длин, должны быть обращены наружу. Длины защитных мер следует учитывать при подсчете общей длины блока. В зависимости от точности изготовления меры выпускаются четырех классов¹: 0, 1, 2, 3-й. Для мер, находящихся в эксплуатации, предусмотрены два дополнительных класса: 4 и 5-й (табл. 4.2). Класс набора концевых мер определяется низшим классом отдельной меры, входящей в набор.

В зависимости от погрешности измерения длины мер (от погрешности аттестации) и отклонения их от плоскопараллельности образцовые концевые меры разделяются на пять разрядов: 1, 2, 3, 4 и 5-й (табл. 4.3).

Образцовые концевые меры 1 и 2-го разрядов по отклонению их длины от номинальной должны относиться к классу точности не ниже 2-го, меры 3-го разряда — к классу точности не ниже 3-го, а меры 4 и 5-го разрядов — к классу точности не ниже 5-го.

Длина концевых мер классов точности 0, 1, 2 и 3—5 должна измеряться с погрешностью, не превышающей пределов, установленных для разрядов 2, 3, 4 и 5-го соответственно.

Проверка плоскопараллельных концевых мер длины производится в соответствии с Инструкциями Комитета стандартов, мер и измерительных приборов при СМ СССР (КСМИП) № 100—60²; 42—65, 95—65 и 96—65.

Для измерения внутренних диаметров (рис. 4.2, а), наружных размеров, при разметке (рис. 4.2, б) и других работах концевые меры применяются совместно со специальными принадлежностями: боковиками (рис. 4.2, в), державками, основанием, лекальной линейкой (ГОСТ 4119—66).

Принадлежности комплектуются в наборы:

1) измерительный малый, включающий две державки, предназначенные для крепления концевых мер и блоков из них длиной от 0 до 80 и от 60 до 160 мм и три пары радиусных боковиков высотой 2,5 и 10 мм;

¹ В РС 2276—69 предусмотрено пять классов точности: 00, 0, 1, 2 и 3.

² Взамен Инструкции 100—60 разрабатывается ГОСТ.

2) измерительный полный (с державками типа I для мер 2-го класса точности и грубее или типа II для 1-го класса точности и грубее), дополнительно включающий державку длиной 160—320 мм, пару радиусных боковиков высотой 15 мм, пару плоскопараллельных боковиков и трехгранную линейку длиной 200 мм;

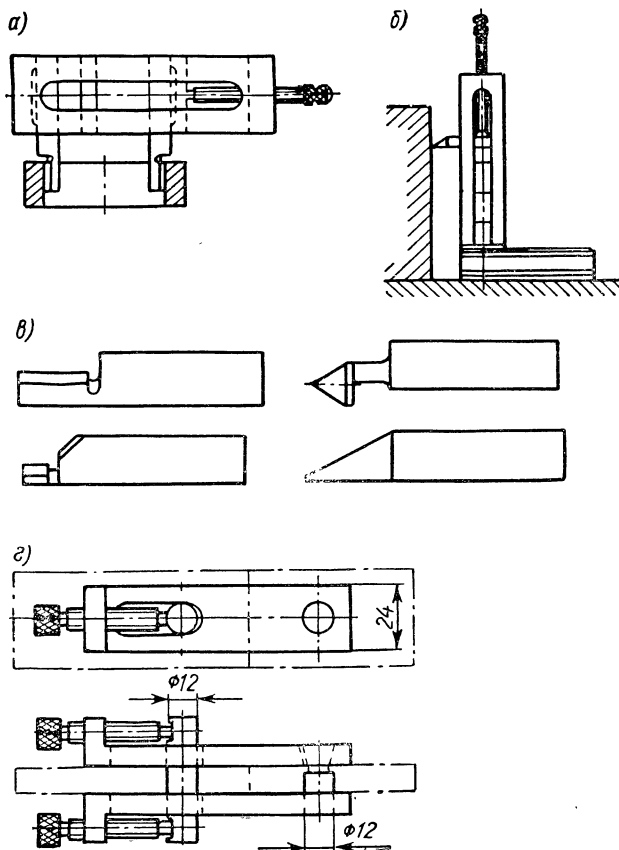


Рис. 4.2

3) разметочный, включающий основание, центровый и чертильный боковики;

4) специальный набор, предназначенный для соединения мер с отверстиями и состоящий из пяти стяжек и двух сухарей (рис. 4.2, г).

Проверка принадлежностей к концевым мерам производится по ГОСТ 15984—70.

ТАБЛИЦА 4.1

Комплектация концевых мер в наборы
(по ГОСТ 9038—73 и ГОСТ 13581—68)

Номер набора		Количество мер в наборе	Градации в мм	Номинальные значения длины мер в мм	Количество мер	Классы набора
из стали	из твердого сплава					
1	1	83	— 0,01 0,1 0,5 10	1,005 От 1 до 1,5 вкл. » 1,6 » 2 » 0,5; от 2,5 до 10 вкл. От 20 до 100 »	1 51 5 17 9	0 *; 1; 2; 3
2	2	38	— 0,01 0,1 1 10	1,005 От 1 до 1,1 вкл. » 1,2 » 2 » » 3 » 10 » » 20 » 100 »	1 11 9 8 9	1; 2; 3
3	3	112	— 0,01 0,1 0,5 10	1,005 От 1 до 1,5 вкл. » 1,6 » 2 » 0,5; от 2,5 до 25 вкл. От 30 до 100 вкл.	1 51 5 47 8	0 *; 1; 2; 3
4	—	10	0,001	От 2 до 2,009 вкл.	10	0; 1 и 2
5	—	10	0,001	От 1,991 до 2 вкл.	10	0; 1 и 2
6	5	10	0,001	От 1 до 1,009 вкл.	10	0; 1 и 2 *
7	4	10	0,001	От 0,991 до 1 вкл.	10	0; 1 и 2 *
8	—	10	25 50 — 100	От 125 до 200 вкл. 50 — защитные меры От 250 до 300 вкл. » 400 » 500 »	4 2 2 2	0; 1; 2; 3

Продолжение табл. 4.1

Номер набора		Количество мер в наборе	Градации в мм	Номинальные значения длины мер в мм		Количество мер	Классы набора
из стали	из твердого сплава						
9	—	12	— 100	50 — защитные меры От 100 до 1000 вкл.		2 10	0; 1; 2; 3
10	—	20	0,01	От 0,1 до 0,29 вкл.		20	1; 2; 3
11	—	43	0,01 0,1	От 0,3 до 0,7 вкл. » 0,8 » 0,9 »		41 2	0; 1; 2; 3
12	—	74	— 0,01 0,1 0,5	1,005 От 1 до 1,5 вкл. » 1,6 » 2 » 0,5; от 2,5 до 10 вкл.		1 51 5 17	0; 1; 2; 3
13	—	11	— 10	5 От 10 до 100 вкл.		1 10	0; 1; 2; 3
14	—	38	0,5 10	От 10,5 до 25 вкл. » 30 » 100 »		30 8	0; 1; 2; 3
15	—	4	—	Защитные меры	1 1,5 2	2 1 1	0; 1; 2; 3
—	7	4	—	Защитные меры	1,5 2	2 2	1; 2; 3
—	8	4	—	Защитные меры	1 1,5	2 2	1; 2; 3

Продолжение табл. 4.1

Номер набора		Количество мер в наборе	Градации в мм	Номинальные значения длины мер в мм	Количество мер	Классы набора
из стали	из твердого сплава					
16	—	29	— 0,01 0,1 1	1,005 От 1 до 1,1 вкл. » 1,2 » 2 » » 3 » 10 »	1 11 9 8	1; 2; 3
17	—	19	0,001	От 1,991 до 2,009 вкл.	19	0; 1; 2
18	6	19	0,001	От 0,991 до 1,009 вкл.	19	0; 1; 2 *
19	—	23	—	0,12; 0,14; 0,17; 0,2; 0,23; 0,26; 0,29; 0,34; 0,4; 0,43; 0,46; 0,57; 0,7; 0,9; 1; 1,16; 1,3; 1,44; 1,6; 1,7; 1,9; 2; 3,5	23	1; 2
20	—	20	—	5,12; 10,24; 15,36; 21,5; 25; 30,12; 35,24; 40,36; 46,5; 50; 55,12; 60,24; 65,36; 71,5; 75; 80,12; 85,24; 90,36; 96,5; 100	20	1; 2
21	—	7	—	21,2; 51,4; 71,5; 101,6; 126,8; 150; 175	7	3

Примечание. * — только концевые меры из стали.
В этой таблице и в других принято условное сокращение вкл.
(включительно).

ТАБЛИЦА 4.2

Классы плоскопараллельных концевых мер длины
(по ГОСТ 9038—73 и проекту ГОСТа на поверку концевых мер)

Номинальное значение длины концевой меры в мм	Допускаемые отклонения в мкм для классов									
	0		1		2		3		4	
	от номиналь- ного значе- ния ±	от плоско- параллель- ности	от номиналь- ного значе- ния ±	от плоско- параллель- ности	от номиналь- ного значе- ния ±	от плоско- параллель- ности	от номиналь- ного значе- ния ±	от плоско- параллель- ности	от номиналь- ного значе- ния ±	от плоско- параллель- ности
До 10 вкл.	0,10	0,09	0,20	0,16	0,4	0,3	0,3	2,0	0,6	0,6
Св. 10 до 25	0,14	0,10	0,30	0,16	0,6	0,3	1,2	2,5	0,6	0,6
» 25 » 50	0,20	0,10	0,40	0,18	0,8	0,3	1,6	3,0	0,6	0,6
» 50 » 75	0,25	0,12	0,50	0,18	1,0	0,35	2,0	4,0	0,8	0,8
» 75 » 100	0,30	0,12	0,60	0,20	1,2	0,35	2,5	5,0	0,8	0,8
» 100 » 150	0,40	0,14	0,80	0,20	1,6	0,4	3,0	6,0	0,8	0,8
» 150 » 200	0,50	0,15	1,00	0,22	2,0	0,4	4,0	8,0	0,8	0,8
250	0,60	0,15	1,20	0,25	2,5	0,4	5,0	10,0	0,8	0,8
300	0,70	0,18	1,40	0,25	3,0	0,4	6,0	12,0	0,8	0,8
400	0,90	0,20	1,80	0,30	3,5	0,5	7,0	14,0	1,0	1,0
500	1,00	0,25	2,00	0,35	4,0	0,6	8,0	16,0	1,0	1,0
600	1,20	0,25	2,50	0,40	5,0	0,7	10,0	20,0	1,5	1,5
700	1,40	0,25	2,80	0,45	5,5	0,7	11,0	22,0	1,5	1,5
800	1,60	0,30	3,20	0,50	6,5	0,8	13,0	26,0	1,5	1,5
900	1,80	0,30	3,50	0,50	7,0	0,9	14,0	28,0	1,5	1,5
1000	2,00	0,40	4,00	0,60	8,0	1,0	16,0	30,0	1,5	1,5

ТАБЛИЦА 4.3

Разряды плоскостепенных концевых мер длины
(по проекту ГОСТа на поверку концевых мер)

Номинальное значение длины концевой меры в мм	Разряды мер									
	1		2		3		4		5	
	Формулы пределов допускаемой погрешности измерения длины концевых мер									
	$\pm (0,02 + 0,2L)$		$\pm (0,05 + 0,5L)$		$\pm (0,1 + 1L)$		$\pm (0,2 + 2L)$		$\pm (0,5 + 5L)$	
Пределы допускаемой погрешности измерения длины в \pm мкм (1) и допускаемые отклонения от плоскостепенности в мкм (2)										
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
До 10 вкл.	0,02	0,10	0,06	0,10	0,11	0,16	0,22	0,30	0,6	0,6
Св. 10 до 25 вкл.	0,02	0,10	0,06	0,10	0,12	0,16	0,25	0,30	0,6	0,6
25 » 50 »	0,03	0,10	0,08	0,10	0,15	0,18	0,30	0,30	0,8	0,8
50 » 75 »	0,03	0,12	0,09	0,12	0,18	0,20	0,35	0,35	0,9	0,8
75 » 100 »	0,04	0,12	0,10	0,12	0,20	0,20	0,40	0,35	1,0	0,8
100 » 125 »	0,04	0,14	0,11	0,14	0,22	0,20	0,45	0,40	1,1	0,8
125 » 150 »	0,05	0,14	0,12	0,14	0,25	0,20	0,50	0,40	1,2	0,8
150 » 175 »	0,06	0,16	0,14	0,16	0,28	0,25	0,55	0,40	1,4	0,8
175 » 200 »	0,06	0,16	0,15	0,16	0,30	0,25	0,60	0,40	1,5	0,8
250 вкл.	0,07	0,18	0,18	0,18	0,35	0,25	0,70	0,45	1,8	0,8
300 »	0,08	0,18	0,20	0,18	0,40	0,25	0,80	0,50	2,0	0,8
400 »	0,10	0,20	0,25	0,20	0,50	0,30	1,00	0,50	2,5	1,0
500 »	0,12	0,25	0,30	0,25	0,60	0,35	1,20	0,60	3,0	1,0
600 »	0,14	0,25	0,35	0,25	0,70	0,40	1,40	0,70	3,5	1,5
700 »	0,16	0,30	0,40	0,30	0,80	0,45	1,60	0,70	4,0	1,5
800 »	0,18	0,30	0,45	0,30	0,90	0,50	1,80	0,80	4,5	1,5
900 »	0,20	0,35	0,50	0,35	1,00	0,50	2,00	0,90	5,0	1,5
1000 »	0,22	0,40	0,55	0,40	1,10	0,60	2,20	1,00	5,5	1,5

Примечание. В формулах L — длина концевой меры в мм.

Примечание. В формулах L — длина концевой меры в мм.

2. МЕРЫ ДЛИНЫ ШТРИХОВЫЕ

К штриховым мерам относятся брусковые меры длины, измерительные линейки и рулетки. Брусковые штриховые меры применяются в качестве шкал приборов и станков, а также как образцовые меры длины при поверке рабочих мер длины, приборов для линейных измерений и проверке станков. В соответствии с ГОСТ 12069—66 брусковые меры должны изготавливаться шести классов точности: 0, 1, 2, 3, 4 и 5-го с номинальными размерами от 100 до 4000 мм.

Измерительные линейки и рулетки предназначены для измерения размеров изделий 7—11-го классов точности. Линейки по ГОСТ 427—56 должны изготавливаться с одной или двумя шкалами с верхними пределами измерений 150, 300, 500 и 1000 мм и ценой деления 0,5 или 1 мм. Линейки с ценой деления 1 мм могут иметь на длине 50 мм от начала конца шкалы полумиллиметровые деления.

Рулетки, предназначенные для измерений в машиностроении, подразделяются по ГОСТ 7502—69 на рулетки в закрытом корпусе (тип РЗ) с длиной шкалы 2, 5, 10, 20, 30 и 50 м и ценой деления 1 или 10 мм, самосвертывающиеся (тип РС) и желобчатые (тип РЖ) с длиной шкалы 1 и 2 м при цене деления 1 мм.

По точности нанесения шкал рулетки должны изготавливаться трех классов: 1-го (типа РЗ с длиной шкалы 10 и 20 м), 2-го (РЗ с длиной шкалы 2, 5, 10, 20, 30 и 50 м) и 3-го (все типы рулеток). Рулетки 1 и 2-го классов должны иметь миллиметровые деления на всей длине шкалы.

В зависимости от положения начала шкалы на измерительной ленте рулетки должны изготавливаться в двух исполнениях: А — начало шкалы удалено не менее чем на 100 мм от торца ленты (рулетки типов РЗ и РС 1, 2 и 3-го классов точности); Б — начало шкалы совпадает с торцом ленты (рулетки всех типов 3-го класса точности).

Допускаемые отклонения действительной общей длины шкал ленток и рулеток от номинального значения указаны в табл. 4.4

ТАБЛИЦА 4.4

Допускаемые отклонения действительной длины шкал ленток и рулеток
(по ГОСТ 427—56 и ГОСТ 7502—69)

Меры	Общая длина шкалы									
	в мм				в м					
	до 300	св. 300 до 500	св. 500 до 1000	1	2	5	10	20	30	50
Допускаемые отклонения (±) в мм, не более										
Линейки	0,10	0,15	0,20	—	—	—	—	—	—	—
Рулетки 1-го класса	—	—	—	—	—	—	0,5	1,0	—	—
» 2-го »	—	—	—	—	0,4	1,0	1,0	2,0	3,0	5,0
» 3-го »	—	—	—	0,4	0,8	2,0	2,5	4,0	5,0	7,0

ТАБЛИЦА 4.5

Допускаемые отклонения отдельных подразделений шкал линеек и рулеток
(по ГОСТ 427—56 и ГОСТ 7502—69)

Меры	Допускаемые отклонения отдельных подразделений (\pm) в мм, не более		
	дециметро- вых и мет- ровых	сантимет- ровых	миллиметро- вых и полу- миллимет- ровых
Линейки	—	0,10	0,05
Рулетки 1-го класса	0,20	0,10	0,05
» 2-го »	0,30	0,20	0,10
» 3-го »	0,40	0,30	0,20

а отдельных подразделений — в табл. 4.5. Отклонения расстояний от любого промежуточного штриха до начала шкалы, а у линеек также и до конца шкалы, не должны превышать отклонений, соответствующих ближайшим большим размерам, указанным в таблицах. Требования, указанные в таблицах, относятся к температуре 20° С и натяжению ленты, равному 1,0 Н для рулеток длиной более 10 м и 0,5 Н — для рулеток длиной до 10 м.

Поверка брусковых штриховых мер производится по ГОСТ 16216—70, а линеек и рулеток — по Инструкциям 83—57 и 89—64 КСМИП.

3. ЩУПЫ

Щупы представляют собой пластины с параллельными измерительными плоскостями, предназначенные для проверки величин зазоров между поверхностями. Согласно ГОСТ 882—64 щупы должны изготавливаться двух классов точности (1 и 2-го), длиной 100 и 200 мм. Щупы длиной 100 мм должны поставляться отдельными пластинами и наборами, включающими следующие номинальные размеры пластин:

набор № 1 (9 щупов) — 0,02; 0,03; 0,04; 0,05; 0,06; 0,07; 0,08; 0,09; 0,1 мм;

набор № 2 (17 щупов) — 0,02; 0,03; 0,04; 0,05; 0,06; 0,07; 0,08; 0,09; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,4; 0,45; 0,5 мм;

набор № 3 (10 щупов) — 0,55; 0,6; 0,65; 0,7; 0,75; 0,8; 0,85; 0,9; 0,95; 1 мм;

набор № 4 (10 щупов) — 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1 мм.

Щупы длиной 200 мм должны поставляться отдельными пластинами. Отклонения толщины и желобчатость щупов не должны превышать величин, указанных в табл. 4.6. Поверка щупов производится по ГОСТ 8.007—71.

Щупы выпускаются Ленинградским инструментальным заводом (ЛИЗ).

ТАБЛИЦА 4.6
Допускаемые отклонения толщины и допускаемая желобчатость щупов
(по ГОСТ 882—64)

Номинальная толщина щупов в мм	Допускаемые отклонения толщины щупов в мкм						Допускаемая желобчатость щупов в мкм	
	1-й класс точности			2-й класс точности			1-й класс точности	2-й класс точности
	новых		изношенных	новых		изношенных		
	верхнее	нижнее		верхнее	нижнее			
От 0,02 до 0,06	+3,5	-1,5	-3	+5	-3	-5	-	-
Св. 0,06 » 0,10	+4	-2	-4	+6	-4	-6	-	-
» 0,10 » 0,18	+6	-2	-4	+8	-4	-8	4	6
» 0,18 » 0,30	+6	-3	-5	+9	-5	-9	4	7
» 0,30 » 0,50	+7	-4	-6	+11	-6	-11	5	8
» 0,50 » 0,60	+8	-5	-7	+13	-7	-13	6	10
» 0,60 » 0,80	+9	-5	-8	+14	-8	-14	7	11
» 0,80 » 1,00	+10	-5	-9	+16	-9	-16	7	12

4. ШТАНГЕНИНСТРУМЕНТЫ

К штангенинструментам относятся штангенциркули, штангенглубиномеры, штангенрейсмасы и штангензубомеры (см. главу восьмую).

Штангенциркули (ГОСТ 166—73, рис. 4.3) изготавливаются четырех типов: ШЦ-I — с двусторонним расположением губок — для наружных

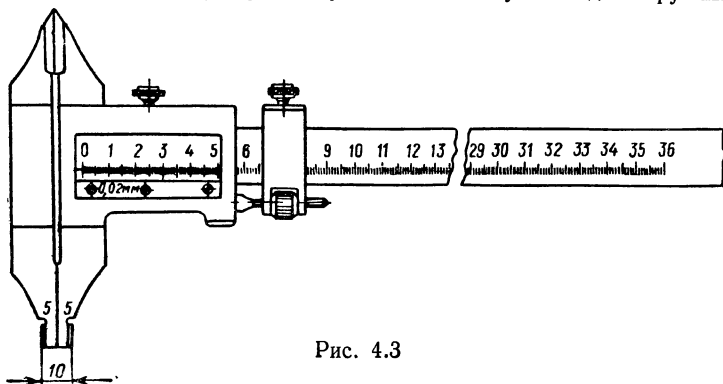


Рис. 4.3

и внутренних измерений и с линейкой для измерения глубин и высот; ШЦТ-I — с односторонним расположением губок, оснащенных твердым сплавом, для наружных измерений и с линейкой для измерения глубин; ШЦ-II — с двусторонним расположением губок — для наружных и внутренних измерений и для разметки; ШЦ-III — с односторонним расположением губок — для наружных и внутренних измерений.

Штангенглубиномеры (ГОСТ 162—64, рис. 4.4, а) предназначены для измерения глубины и высоты изделий, расстояний до буртиков или выступов, а штангенрейсмасы (ГОСТ 164—64, рис. 4.4, б) — для разметки и измерения высоты изделий.

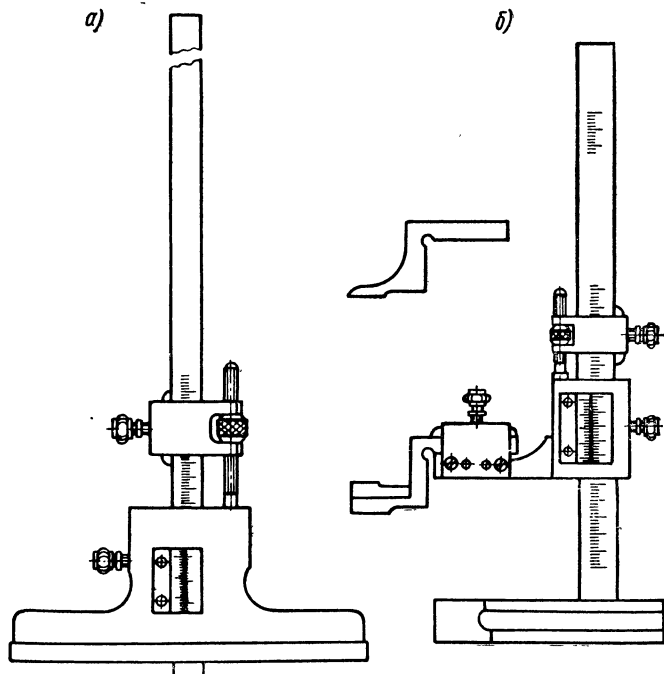


Рис. 4.4

Все штангенинструменты имеют основную шкалу с ценой деления 1 мм и нониус (вспомогательную шкалу для отсчета дробных долей миллиметра). Основные типы нониусов (I—IV) показаны на рис. 4.5.

Характеристики нониусов: цена деления нониуса (величина отсчета по нониусу) a и модуль нониуса γ определяются по формулам

$$a = \frac{i}{n}; \quad \gamma = \frac{l+i}{ni},$$

где i — цена деления основной шкалы в мм; n — число делений нониуса; l — длина шкалы нониуса в мм.

ТАБЛИЦА 4.7

Техническая характеристика штангенинструментов
(по ГОСТ 166—73; ГОСТ 162—64 и ГОСТ 164—64)

Типы штангенин- струментов	Диапазон измере- ния в мм	Цена деления нониуса в мм	Заводы-из- готовители	Погрешности (\pm) в мм, (не более) при		
				измеряе- мых раз- мерах в мм	цене деле- ния нони- уса в мм	
					0,05	0,1
Штанген- циркули: ШЦ-I, ШЦТ-I	0—125	0,1	«Калибр» и СТИЗ	До 250	0,05	0,1
ШЦ-II, ШЦ-III	0—160 0—250	0,05 и 0,1	ЛИЗ ЧЗМИ	Св. 250 до 1000	—	0,1
ШЦ-III	0—400	0,1	СТИЗ	Св. 1000 до 2000	—	0,2
	250—630 320—1000 500—1600 800—2000					
Штанген- глубиномеры	0—200 0—320	0,05	КРИН	0—320	0,05	—
	0—500	0,1		0—500	—	0,1
Штанген- рейсмасы	0—250 40—400	0,05	КРИН	До 630 Св. 630 до 1000 Св. 1000 до 2500	0,05	0,1
	60—630	0,05 и 0,1			—	0,1
	100—1000 600—1600 1500— 2500	0,1			—	0,2

П р и м е ч а н и я:

1. Ставропольский инструментальный завод (СТИЗ), кроме того, выпускает по заказам штангенциркули с диапазонами измерений 1500—3000 и 2000—4000 мм с ценой деления нониуса 0,1 мм.

2. ЧЗМИ — Челябинский завод мерительных инструментов.

3. КРИН — завод «Красный инструментальщик».

4. Штангенциркули типа ШЦ-II с диапазонами измерения 0—200 и 0—320 мм выпускаются с одним и двумя раздельными нониусами для наружных и внутренних измерений. При двух нониусах цена деления нониуса 0,1 мм.

Допускается изготавливать штангенциркули всех диапазонов измерений с двумя нониусами.

Основные показатели штангенинструментов указаны в табл. 4.7.

Проверка штангенциркулей производится по ГОСТ 8.113—74; штангенглубиномеров — по Инструкции 140—64, а штангенрейсмасов — по Инструкции 139—64 КСМИП.

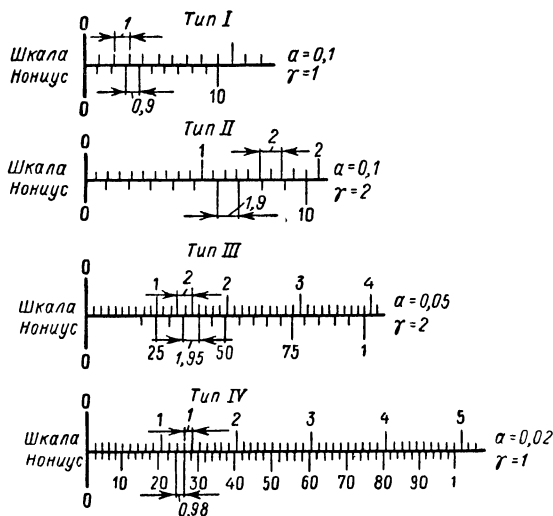


Рис. 4.5

Фирма «Mauser» (ФРГ) выпускает штангенциркули с различной формой губок и штангенглубиномеры для измерений в труднодоступных местах, а фирма «Perthen» (ФРГ) — электроиндуктивные штангенрейсмасы с цифровой индикацией.

5. МИКРОМЕТРИЧЕСКИЕ ИНСТРУМЕНТЫ

К микрометрическим инструментам относятся микрометры, микрометрические глубиномеры и микрометрические нутромеры. Все эти инструменты имеют микрометрическую головку с ценой деления 0,01 мм и с диапазоном показаний 0—25 мм (иногда 0—5, 0—10 и 0,15 мм).

Микрометрическая головка (типа ГМР 01) используется также в различных приборах и измерительных приспособлениях и выпускается отдельно заводом КРИН.

Микрометры (заводов «Калибр» и КРИН). В соответствии с ГОСТ 6507—60¹ устанавливаются следующие типы микрометров:

МК — микрометры гладкие для измерения наружных размеров изделий;

¹ Взамен ГОСТ 6507—60 разрабатывается новый стандарт в соответствии с рекомендацией СЭВ РС 608—66.

МЛ — микрометры листовые с циферблатом для измерения толщины листов и лент;

МТ — микрометры трубные для измерения толщины стенок труб с внутренним диаметром от 12 мм и более;

МЗ — микрометры зубомерные для измерения длины общей нормали зубчатых колес (см. главу восьмую).

Кроме того, выпускаются микрометры со вставками (ГОСТ 4380—63), предназначенные для измерения мягких материалов и микрометры настольные (ГОСТ 11195—74), используемые в основном в часовой промышленности.

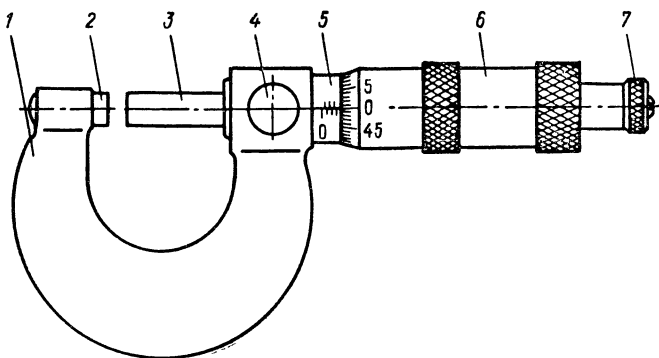


Рис. 4.6

Гладкий микрометр (рис. 4.6) состоит из скобы 1, пятки 2, микрометрического винта 3, стопора 4, стебля 5, барабана 6 и трещотки 7.

Микрометры выпускаются с диапазоном измерения 0—15 (по соглашению сторон), 0—25, 25—50, 50—75 мм и т. д. соответственно до 300 мм, 300—400, 400—500 и 500—600 мм.

Микрометры с верхним пределом измерения св. 300 мм имеют сменную или передвигающую пятку. К микрометрам с верхним пределом измерения 50 мм и более прилагаются установочные меры с плоско-параллельными поверхностями (при длине до 300 мм) или сферическими поверхностями (при длине св. 300 мм).

Пределы допускаемых погрешностей установочных мер указаны в табл. 4.8.

Микрометры листовые (рис. 4.7) имеют неподвижный циферблат с числом делений 100 или 50 и вращающуюся с барабаном стрелку. Эти микрометры изготавливаются с диапазонами измерения 0—5, 0—10 и 0—25 мм. Вылет скобы соответственно не менее 20, 40 и 80 мм. Измерительная поверхность пятки — сферическая с радиусом сферы 10—12 мм.

По требованию заказчика обе измерительные поверхности могут быть плоскими или сферическими.

ТАБЛИЦА 4.8

Пределы допускаемых погрешностей установочных мер к микрометрам
(ГОСТ 6507—60)

Номинальный размер установочной меры в мм	Допускаемые отклонения в мкм (\pm)	
	длины меры от номинальных размеров	измерительных поверхностей от плоскопараллель- ности
25; 50; 75	1,5	0,5
100; 125	2,0	0,75
150; 175	2,0	1,0
200; 225; 250; 275	2,5	1,5
325; 375; 425; 475	3,5	—
525; 575	4,0	—

Микрометры трубные выпускаются с диапазонами измерения 0—10 мм (по требованию заказчика) и 0—25 мм. Измерительная поверхность пятки выполняется сферической с радиусом сферы 5 мм.

Пределы допускаемых погрешностей микрометров типов МК, МЛ и МТ указаны в табл. 4.9.

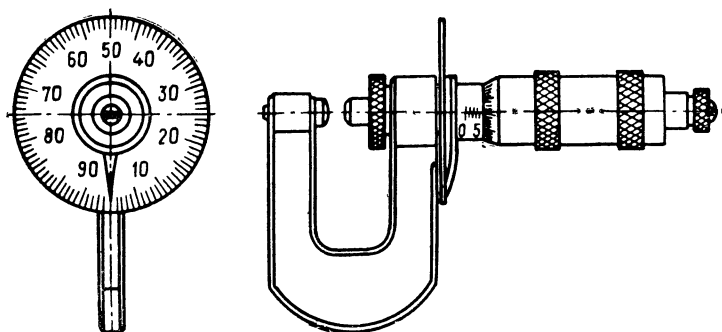


Рис. 4.7

Измерительное усилие у гладких микрометров 500—900 сН, у листовых микрометров с одной или двумя сферическими поверхностями — 300—700 сН, а с двумя плоскими поверхностями — 500—900 сН, у трубных микрометров — 300—700 сН. Колебание измерительного усилия для одного микрометра не более 200 сН.

Микрометры со вставками имеют диапазон измерения 0—25 мм. Диаметр вставок — 12 мм. Пределы допускаемой погрешности показаний ± 4 мкм.

ТАБЛИЦА 4.9

Пределы допускаемых погрешностей микрометров типов МК, МЛ и МТ
(по ГОСТ 6507—60)

Верхний предел измерения микрометров в мм	Пределы допускаемой погрешности в мкм (\pm)	Допускаемая непараллельность измерительных поверхностей в мкм	Допускаемое изменение показаний микрометров от изгиба скобы при усилии в 10Н в мкм
15; 25	4	2	2
50	4	2,5	2
75; 100	4	3	3
125; 150	5	4	4
175; 200	5	4	5
225; 250; 275; 300	6	6	6
400	8	8	8
500	8	10	10
600	10	12	12
<p>Примечания:</p> <p>1. Микрометры, показатели которых соответствуют нормам, указанным в таблице, обозначаются как микрометры 1-го класса.</p> <p>2. Микрометры, у которых погрешность показаний и отклонение от параллельности измерительных поверхностей не превышает 50% допустимых, обозначаются как микрометры нулевого класса точности.</p> <p>3. Допускается применение микрометров, у которых погрешность показаний не превышает 200% допустимой. Такие микрометры обозначаются как микрометры 2-го класса точности (из Инструкции 135—61 КСМИП).</p>			

Микрометры настольные (ГОСТ 11195—74, рис. 4.8, ЛИЗ) выпускаются двух типов: горизонтальные (МГ) с диапазоном измерения 0—20 мм (рис. 4.8, а) и вертикальные (МВ) с диапазоном измерения 0—10 мм (рис. 4.8, б). Измерительное перемещение микрометрического винта в обоих случаях — 10 мм, а цена деления — 0,01 мм. У микрометров типа МГ измерительная пятка переставляется на 10 мм. Измерительное усилие микрометров типов МГ и МВ равно 500 ± 200 сН, пределы допускаемой погрешности показаний на участке шкалы до 3 мм равны ± 2 мкм, а на участке шкалы более 3 мм ± 3 мкм.

Глубиномер микрометрический (завод КРИН, ГОСТ 7470—67). Глубиномер (рис. 4.9) предназначен для измерения глубины пазов, отверстий и высоты уступов. Основные детали: основание 1, стержень 2, барабан 3, трещотка 4, стопор 5, измерительный стержень 6. Диапазоны измерения 0—100 и 0—150 мм обеспечиваются набором сменных измерительных стержней с допустимыми отклонениями длины $\pm 0,02$ мм.

Глубиномеры выпускаются двух классов точности — 1 и 2-го. Пределы допускаемой погрешности (в диапазоне перемещения микрометрического винта) глубиномеров 1-го класса точности с диапазо-

ном измерения 0—100 мм не должны превышать ± 3 мкм, а глубиномеров с диапазоном измерения 0—150 мм — ± 4 мкм; для глубиномеров 2-го класса точности соответственно ± 5 и ± 6 мкм.

Глубиномеры укомплектовываются установочными мерами длиной 25, 75 и 125 мм. Отклонения длины установочных мер от номи-

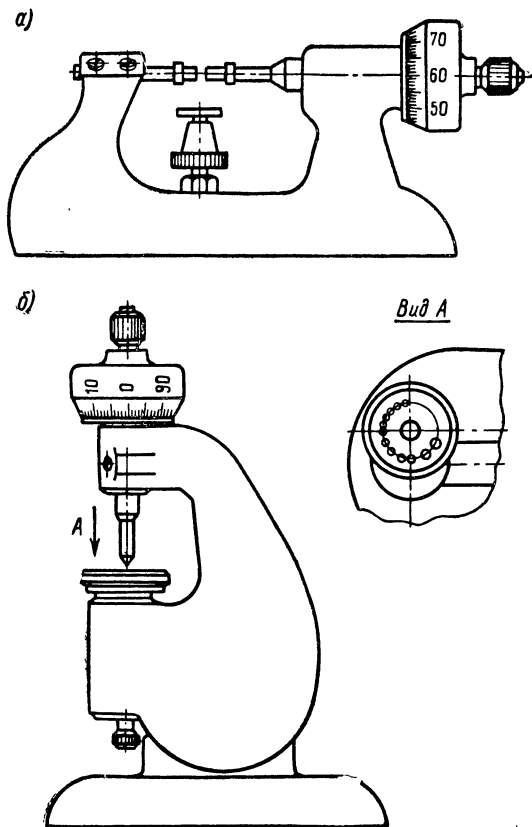


Рис. 4.8

нальных размеров не должны превышать: для меры 25 мм 1 и 2-го классов точности соответственно $\pm 0,5$ и ± 1 мкм, для меры 75 мм — $\pm 0,75$ и $\pm 1,5$ мкм и для меры 125 мм — $\pm 1,5$ мкм.

Микрометрические нутромеры (ЧЗМИ, ГОСТ 10—58). Нутромеры (рис. 4.10) предназначены для измерения внутренних размеров изделий. Изготавливаются с диапазонами измерения 50—75, 75—175, 75—600, 150—1250, 800—2500, 1250—4000, 2500—6000, 4000—

10 000 мм. Нутромеры (рис. 4.10, а) состоят из удлинителей 3, свинчиваемых друг с другом, с микрометрической головкой 1 и жестким

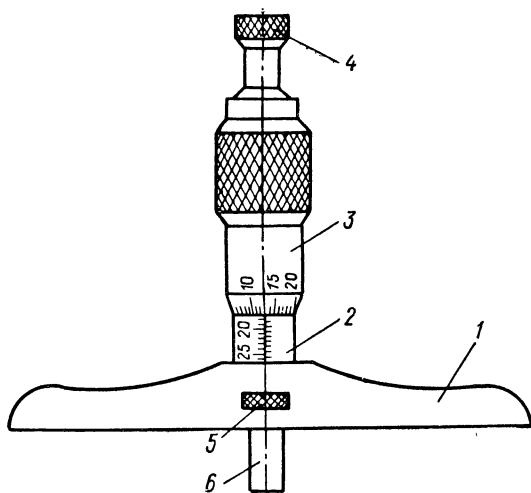


Рис. 4.9

наконечником 4. К нутромерам с диапазонами измерения от 1250 мм и выше (рис. 4.10, б) прилагается, кроме того, индикаторная головка 2 с ценой деления 0,01 мм. Удлинители снабжены теплоизолирующими накладками.

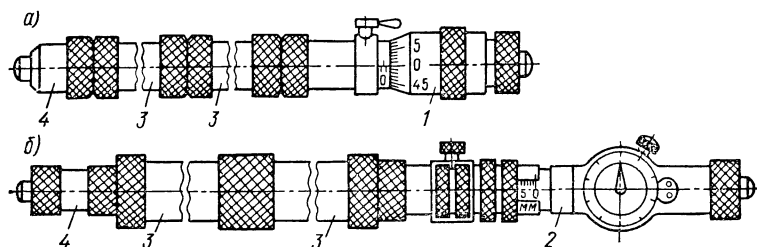


Рис. 4.10

В комплект нутромера входят установочные меры, предназначенные для проверки нулевого положения микрометрической головки и для установки на ноль индикатора. Размеры установочных мер: $63 \pm 0,002$, $75 \pm 0,002$, $150 \pm 0,004$ и $500 \pm 0,007$ мм.

Пределы допускаемых погрешностей нутромеров указаны

ТАБЛИЦА 4.10

Пределы допускаемых погрешностей микрометрических нутромеров
(по ГОСТ 10—58)

Измеряемые размеры в мм	Пределы допускаемой погрешности в мкм (\pm)	Допускае- мые измене- ния длины при измене- нии положен- ия опор в мкм	Допускаемое смещение изме- рительного на- конечника при вращении нутро- мера на двух опорах (диаметр окружности в мкм)
От 50 до 125	6	—	1
Св. 125 » 200	8	—	1
» 200 » 325	10	—	1
» 325 » 500	12	—	1
» 500 » 800	15	—	1
» 800 » 1 250	20	—	1
» 1 250 » 1 600	25	5	2
» 1 600 » 2 000	30	10	3
» 2 000 » 2 500	40	15	3
» 2 500 » 3 150	50	25	4
» 3 150 » 4 000	60	40	4
» 4 000 » 5 000	75	55	6
» 5 000 » 6 000	90	70	8
» 6 000 » 7 000	110	90	10
» 7 000 » 8 000	130	110	10
» 8 000 » 9 000	150	130	12
» 9 000 » 10 000	180	160	12

Примечания:
 1. При поверке изменения длины нутромера опоры располагают сначала так, чтобы длина нутромера получалась наибольшей, а затем на расстоянии 220 мм от измерительных поверхностей.
 2. При поверке смещения измерительного наконечника при вращении нутромера опоры располагают так, чтобы длина нутромера получалась наибольшей.

Поверка микрометров производится по Инструкции 135—61 КСМИП, глубиномеров — по ГОСТ 15985—70, а нутромеров — по ГОСТ 17215—71.

Некоторые зарубежные фирмы — «Hommelwerke», «Steinmeyer» (ФРГ), «Pav» (Англия) и др. — изготавливают микрометры с шагом винта 1 мм (вместо 0,5 мм) и барабаном со 100 делениями. Это позволяет исключить вторую шкалу на стебле микрометра, а следовательно, и ошибки, возникающие при отсчете по двум смещенным (на 0,5 мм) шкалам стебля.

Ряд фирм — («Tesa» (Швейцария), «Borletti» (Италия) и др.) — выпускают микрометры с цифровой индикацией. Цифровые устройства размещаются в барабане или в скобе.

6. РЫЧАЖНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

Индикаторы часового типа (завод КРИН, ГОСТ 577—68)

Индикаторы применяются для измерения размеров и отклонений формы и взаимного расположения поверхностей изделий, а также в качестве отсчетных устройств в различных измерительных приборах и контрольно-измерительных приспособлениях.

Индикаторы изготавливаются следующих типов: ИЧ — с перемещением измерительного стержня параллельно шкале (рис. 4.11), с диапазонами измерения 0—2, 0—5 и 0—10 мм; ИТ — с перемещением измерительного стержня перпендикулярно шкале (рис. 4.12), с диапазоном измерения 0—2 мм.

Кроме того, выпускаются индикаторы с диапазонами измерения 0—25 и 0—50 мм и специальные с увеличенной шкалой (\varnothing 75 и 100 мм). Цена деления шкалы индикаторов — 0,01 мм. Индикаторы выпускаются двух классов точности — нулевого и 1-го. Техническая характеристика индикаторов указана в табл. 4.11.

По исполнению корпуса индикаторы разделяются на обыкновенные, брызгозащищенные и пылезащищенные.

К индикаторам выпускаются (ЧЗМИ) следующие принадлежности: прямой и угловой рычаги, струбцина и державка для закрепления на суппорте станка.

ТАБЛИЦА 4.11

Техническая характеристика индикаторов
(по ГОСТ 577—68)

Основные показатели	Диапазон измерения в мм					
	0—2		0—5		0—10	
	Классы точности					
	0	1	0	1	0	1
Пределы допускаемой погрешности в мкм в диапазоне:						
0,1 мм на любом участке шкалы	4	6	4	6	4	6
1 мм на любом участке шкалы	8	10	8	10	8	10
всего интервала измерения	10	12	12	16	15	20
Погрешность обратного хода в мкм	2	3	2	3	2	3
Вариация показаний ¹ в мкм	3	3	3	3	3	3
Наибольшее измерительное усилие в сН	150		150		150	
Колебание измерительного усилия при прямом или обратном ходе в сН	40		60		60	
Колебание измерительного усилия при изменении направления движения измерительного стержня в сН	50		50		50	

¹ См. примечание в третьей главе.

¹ См. примечание в третьей главе.

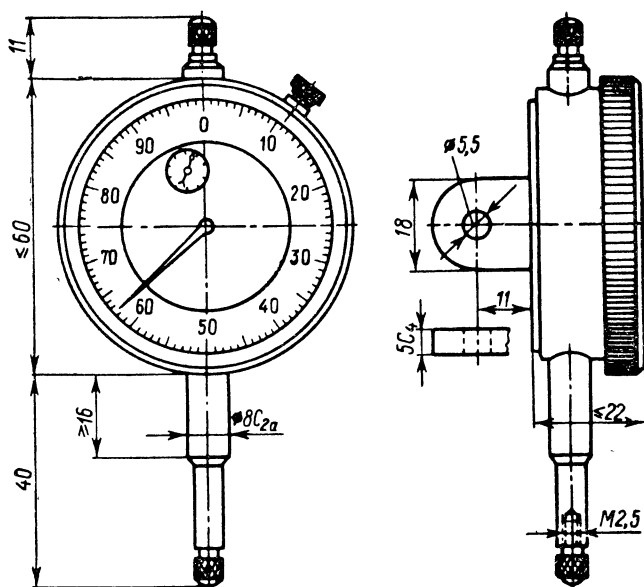


Рис. 4.11

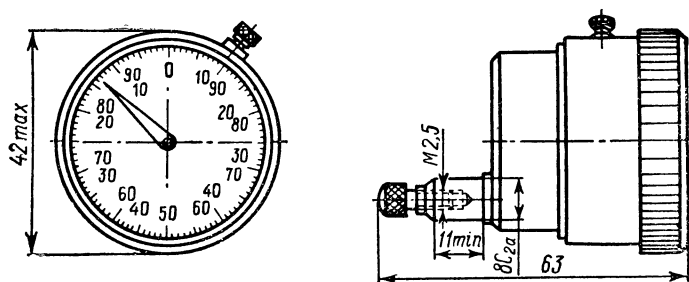


Рис. 4.12

Индикаторный глубиномер (завод КРИН, ГОСТ 7661—67). Глубиномер (рис. 4.13) применяется для измерения глубины отверстий, пазов, высоты уступов и т. п. Прибор оснащается индикатором часового типа с ценой деления 0,01 мм, диапазоном измерения от 0 до 10 мм и шкалой с двойной или обратной оцифровкой.

Диапазон измерения глубиномера от 0 до 100 мм обеспечивается набором сменных измерительных стержней, позволяющих производить измерения в диапазонах 0—10, 10—20 мм и т. д. до 90—100 мм. Отклонения длины измерительных стержней не должны превышать $\pm 0,05$ мм.

Установка индикатора на нуль производится по установочным мерам с размерами 10, 20 и т. д. до 90 мм и с допускаемыми отклонениями длины 1 мкм (при длине до 30 мм) и 1,5 мкм (при длине св. 30 мм).

Индикаторные толщиномеры (завод КРИН, ГОСТ 11358—65¹).

Приборы применяются для измерения толщины изделий в диапазоне от 0 до 50 мм и оснащаются отсчетным устройством с ценой деления

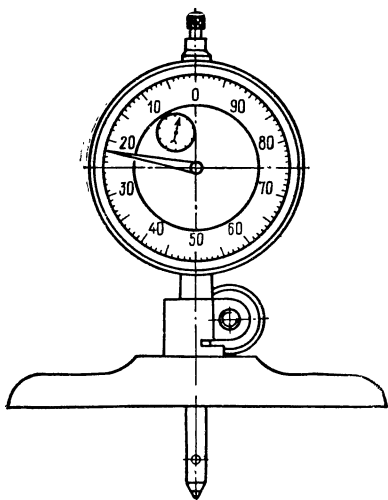


Рис. 4.13

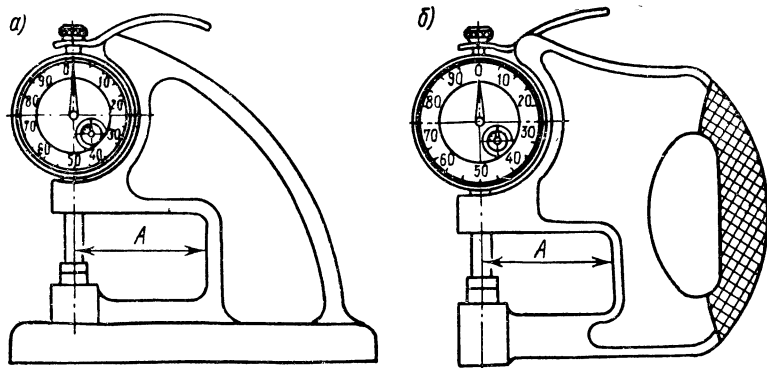


Рис. 4.14

0,01 или 0,1 мм. Толщиномеры подразделяются на настольные (тип ТН, рис. 4.14, а) и ручные (тип ТР, рис. 4.14, б) с нормированным и без нормированного измерительного усилия.

¹ Взамен ГОСТ 11358—65 разрабатывается новый стандарт.

ТАБЛИЦА 4.12

Техническая характеристика толщиномеров

Основные показатели	Типы толщиномеров					
	ТН			ТР		
Диапазон измерений в мм, не менее	0—5	0—10	0—10	0—25		
Цена деления в мм, не более	0,01	0,01	0,01	0,1		
Типоразмеры толщиномеров	I III	I III	I	I II IB	IB	III B
Вылет А в мм, не менее	60 160	60 160	60	60 100 60	100	160
Измерительное усилие в сН:				Не нормируется		
наименьшее	1900	80	80	150		
наибольшее	2100	200	200	400		
Пределы допускаемой погрешности в мм (±):						
на участке до 1 мм	0,01	0,01	0,01	—	—	—
на всем диапазоне измерения	0,016	0,018	0,018	0,10	0,08	0,15
Вариация показаний в мм				¹ / ₃ цены деления		

В зависимости от длины вылета A установлены три типоразмера толщиномеров: I, II, III. Техническая характеристика толщиномеров приведена в табл. 4.12.

Индикаторные стенкомеры (завод КРИН, ГОСТ 11951—66). Стенкомеры (рис. 4.15) предназначены для измерения толщины стенок труб. Техническая характеристика стенкомеров дана в табл. 4.13.

Поверка индикаторов производится по Инструкции 141—55¹, глубиномеров — по ГОСТ 16209—70, толщиномеров — по Инструкции 132—58 КСМИП, а стенкомеров — по ГОСТ 13728—68.

ТАБЛИЦА 4.13

Техническая характеристика стенкомеров
(по ГОСТ 11951—66)

Типы стенкомеров						Измерительное усилие в сН	Пределы до- пускаемой погрешности в мм	
	Диапазон измерения	Цена деления	Наибольшая глуби- на измерения, не менее	Наименьший диа- метр измеряемого отверстия, не более	в мм		на участке до 1 мм	на всем диа- пазоне изме- рения
С-2	0—2	0,01	25	3	80—200	0,01	0,015	
С-10А	0—10	0,01	40	5	80—200	0,01	0,020	
С-10Б	0—10	0,1	60	7	100—250	—	0,100	
С-25	0—25	0,1	100	12	200—400	—	0,150	
С-50	25—50	0,1	160	20	200—400	—	0,150	

Пр и м е ч а н и е. Вариация показаний в мм: $\frac{1}{3}$ цены деления.

Примечание. Вариация показаний в мм: $\frac{1}{3}$ цены деления.

Измерительные головки с рычажно-зубчатой передачей

К ним относятся головки измерительные типа ИГ (ЛИЗ, ГОСТ 6934—62, рис. 4.16) и ГРЗ (завод КРИН), индикаторы многооборотные типа МИГ (ЛИЗ, ГОСТ 9696—61², рис. 4.17) и типа 05205 (ЛИЗ) с расширенным диапазоном измерения [11].

Головки имеют регулировочный винт для точной установки на нуль, арретир, указатели пределов поля допуска. Передаточный механизм головок разгруженной конструкции, что позволяет осуществлять глубокое арретирование.

Фирма «Carl Mahg» (ФРГ) выпускает самую точную из рычажно-зубчатых головок — супрамес, с ценой деления 0,5 мкм, диапазоном измерения ± 25 мкм и погрешностью $\pm 0,25$ мкм.

¹ Взамен Инструкции 141—55 разрабатывается ГОСТ.

² Взамен ГОСТ 9696—61 разрабатывается новый стандарт.

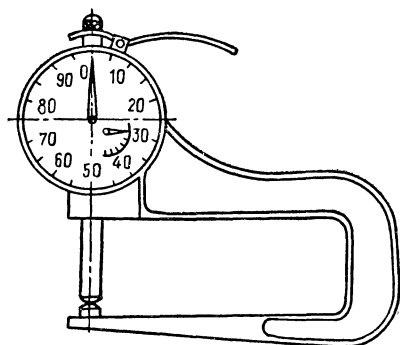


Рис. 4.15

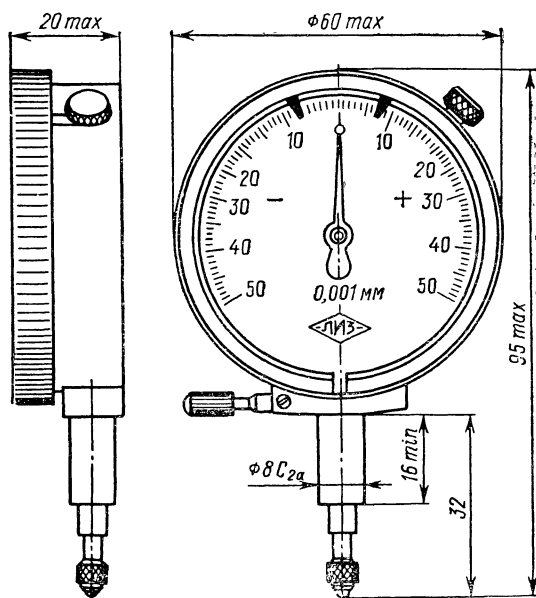


Рис. 4.16

Измерительные головки бокового действия. Такие головки применяются для измерений в труднодоступных местах (бение внутренних поверхностей, уступы и др.). К ним относятся головки рычажно-пружинные — миникаторы (ЛИЗ, ГОСТ 14711—69, рис. 4.18) и рычажно-

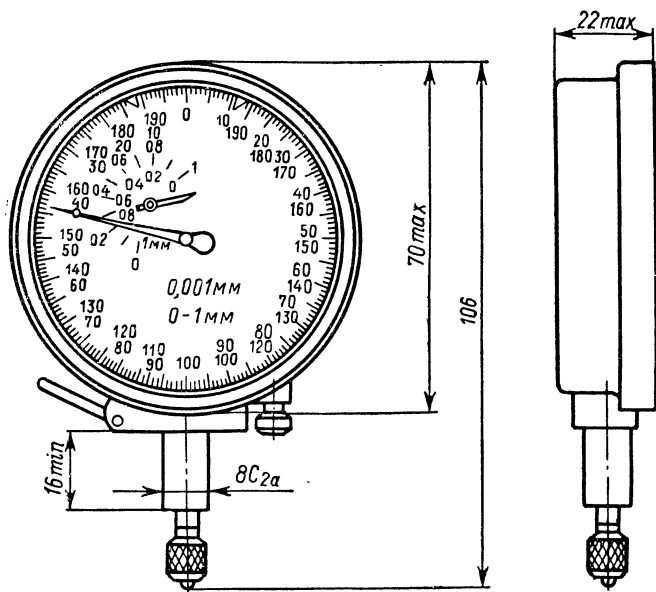


Рис. 4.17

зубчатые (ГОСТ 16924—71) и индикаторы рычажно-зубчатые (завод КРИН, ГОСТ 5584—61) с нормальным расположением шкалы (тип ИРБ, рис. 4.19) и с торцевой шкалой (тип ИРТ, рис. 4.20).

К миникаторам прилагаются два сменных наконечника: короткий и длинный, обеспечивающие за счет изменения длины плеча измерительного рычага разные цены деления и диапазоны показаний. У миникатора угол поворота измерительного наконечника не превышает $\pm 30^\circ$, а у рычажно-зубчатых индикатора и головки $\pm 90^\circ$.

Измерительные головки высокой точности

Такие головки применяются для точных измерений методом сравнения размеров и отклонений формы, а также как отсчетные устройства в различных приборах.

Пружинные головки. В качестве чувствительного элемента в этих головках используется скрученная тонкая металлическая лента, к середине которой прикреплена стрелка. При перемещении измерительного стержня лента раскручивается, что приводит к соответствующему

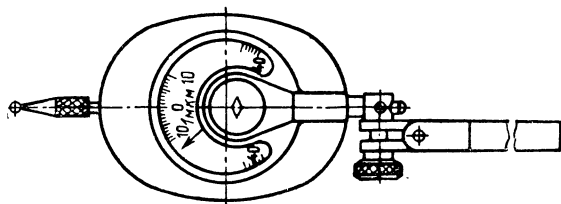


Рис. 4.18

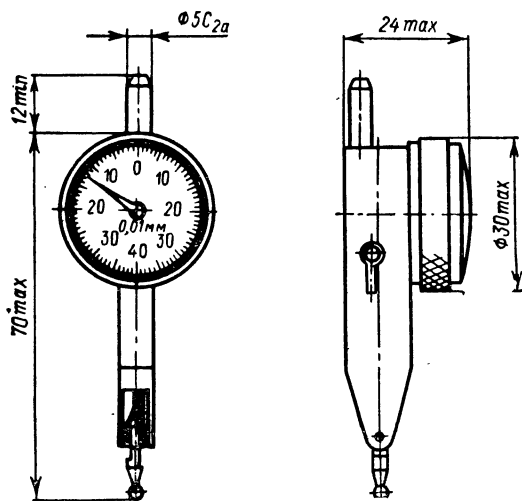


Рис. 4.19

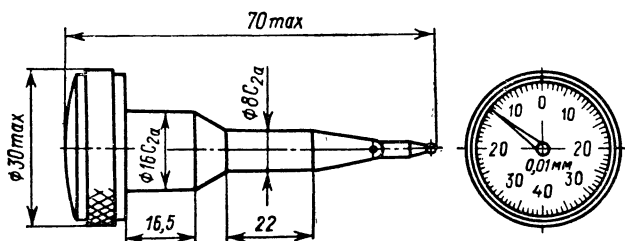


Рис. 4.20

перемещению стрелки по шкале головки. Отсутствие перемещения с внешним трением гарантирует высокую чувствительность приборов и малое измерительное усилие.

Шкала головок оснащается переставными указателями пределов поля допуска.

ЛИЗ выпускает пружинные головки типа микрокатора (ГОСТ 6933—72, рис. 4.21), малогабаритные пружинные головки — микаторы (ГОСТ 14712—69, рис. 4.22) и пружинно-оптические головки — оптикаторы (ГОСТ 10593—63, рис. 4.23). На рисунках обозначены: 1 — корпус; 2 — шкала; 3 — стрелка; 4 — гильза; 5 — арретир; 6 — измерительный наконечник; 7 — указатель предела поля допуска; 8 — фиксатор; 9 — осветитель; 10 — винт поворота шкалы.

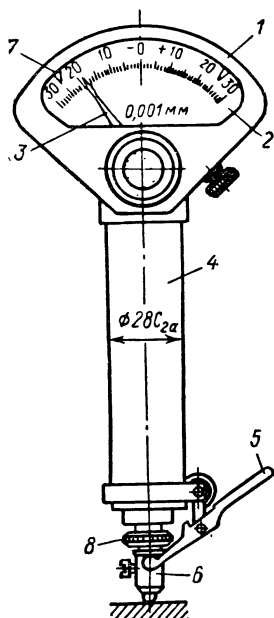


Рис. 4.21

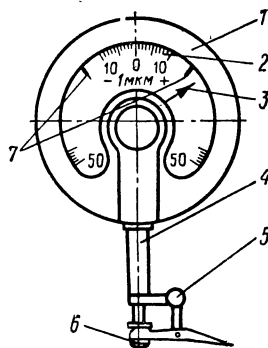


Рис. 4.22

В оптикаторе вместо стрелки на скрученной ленте укреплено зеркальце, отражающее на шкалу светлую полосу с темным штрихом, служащим указателем. Прибор имеет передвижные указатели пределов поля допуска в виде цветных светофильтров.

Проверка рычажно-зубчатых измерительных головок производится по Инструкции 142—63, индикаторов рычажно-зубчатых — по ГОСТ 8.088—73, микрокаторов — по Инструкции 150—63, микаторов — по Инструкции 11—64, оптикаторов — по Инструкции 79—65, стоек и штативов — по Инструкции 14—64¹ КСМИП, а индикаторов многооборотных — по Методическим указаниям № 189 КСМИП.

Техническая характеристика всех измерительных головок приведена в табл. 4.15, а стоек и штативов, применяемых для закрепления индикаторов и измерительных головок (рис. 4.24) — в табл. 4.14.

¹ Взамен Инструкций 11—64, 79—65 и 14—64 разрабатываются стандарты.

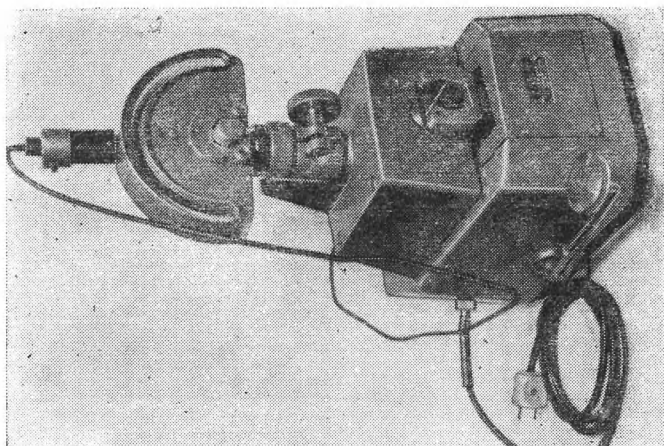


Рис. 4.24

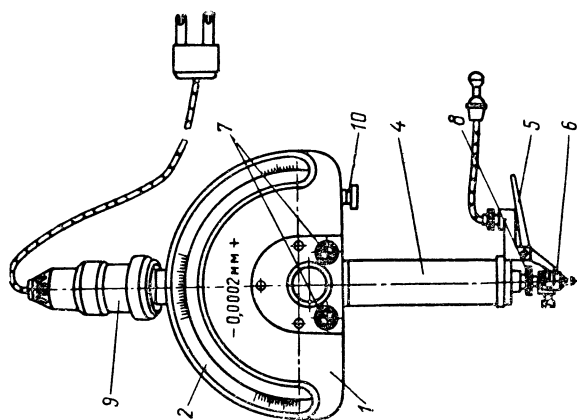


Рис. 4.23

ТАБЛИЦА 4.14

Техническая характеристика стоек и штативов
(по ГОСТ 10197—70)

Типы стоек и штативов	Цена деления в мм измери- тельных го- ловок, за- крепляемых в стойках и штативах	Диапазон измерения по высоте в мм, не менее	Вылет изме- рительной головки в мм, не менее	Диаметр отверстия под измери- тельную головку в мм	Столлик	
					тип	размеры в мм, не менее
C-I	До 0,0005	0—160	75	28	Прямоугольный и квадратный	100×40 и 125×125
C-II	0,001—0,005	0—160	75	28	Квадратный	125×125
C-III (малогабаритные)	0,001—0,01	0—100	55	8	ребристый	Ø 50
C-IV	0,01 и более	0—250	25—160	8	Круглый гладкий Прямоугольный гладкий	160×100
Ш-I	0,002—0,005	0—250	200	8	—	—
Ш-IIH (с низкой колонкой)	0,01 и более	0—250	200	8	—	—
Ш-IIВ (с высокой колонкой)	0,01 и более	0—630	500	8	—	—
Ш-III (облегченные)	0,01 и более	0—200	160	8; 4	—	—
ШМ-I (с магнитным основанием)	0,002—0,005	0—250	200	8	—	—
ШМ-IIH (с магнитным основанием и низкой колонкой)	0,01	0—250	200	8	—	—
ШМ-IIВ (с магнитным основанием и высокой колонкой)	0,01	0—630	500	8	—	—
ШМ-III (облегченные с магнитным основанием)	0,01 и более	0—200	160	8; 4	—	—

Примечание. Стойки C-IV и все штативы, кроме ШМ-I, имеют дополнительные присоединительные места для крепления индикатора за ушко.

ТАБЛИЦА 4.15

Техническая характеристика измерительных головок

(по ГОСТ 6933—72, 10593—74, 14712—69, 6934—62, 9696—61, 5584—61, 14711—69 и материалам заводов)

Наименование головки	Обозначение	Цена деления в мкм	Диапазон показаний в мкм	Пределы допускаемой погрешности в мкм		Вариация показаний в делениях шкалы	Измерительное усилие в сН, не более	Колебание измерительного усилия в сН, не более	Диаметр присоединительной гильзы в мм	Масса в г
				в диапазоне всей шкалы	на участке					
Пружинная — микрокалитор (ЛИЗ)	01 ИГП	0,1	±4	±0,15	±0,10	1/8	150; 50 *;	20; 15 *;	28	380
	02 ИГП	0,2	±6	±0,20	±0,15	1/8	40—150 **	15 **;		
	05 ИГП	0,5	±15	±0,40	±0,25	1/8	150; 50 *;	20; 15 *;		
	1 ИГП	1,0	±30	±0,60	±0,40	1/4	40—150 **	15 **;		
	2 ИГП	2,0	±60	±1,2	±0,80	1/4	150; 50 *;	30; 20 *;		
	5 ИГП	5,0	±150	±3,0	±2,0	1/4	40—150 **	20 **;		
Пружинно-оптическая — оптикатор (ЛИЗ)	01П	0,1	±12	0,1	0,05	1/8	200; 50 *;	20 **;	28	500
	02П	0,2	±25	0,2	0,10	1/8	40—150 **	20 **;		
	05П	0,5	±50	0,5	0,25	1/8	200; 50 *;	30; 20 *;		
	1П	1,0	±125	0,8	0,4	1/8	40—150 **	20 **;		
Пружинная малогабаритная — микатор (ЛИЗ)	0,2ИПМ	0,2	±10	0,3	0,15	1/8	100	25	8	200
	0,2ИПМУ	0,2	±10	0,3	0,15	1/8	50	30		
	0,5ИПМ	0,5	±25	0,5	0,30	1/8	150	30		
	0,5ИПМУ	0,5	±25	0,5	0,30	1/8	50	20		
	1ИПМ	1,0	±50	1,0	0,50	1/8	150	30		
	1ИПМУ	1,0	±50	1,0	0,50	1/8	50	20		
	2ИПМ	2,0	±100	2,0	1,00	1/8	150	30		

Рычажно-зубчатая (ЛИЗ)	1ИГ 2ИГ	1 2	± 50 ± 100	$\pm 0,8$ $\pm 1,5$	$\pm 0,5$ $\pm 1,0$	$1/8$ $1/8$	200 200	60 60	8	120
Рычажно-зубчатая (КРИН)	1ГРЗ 2ГРЗ	1 10	± 50 ± 250	$\pm 0,8$ ± 5	$\pm 0,5$ $\pm 0,5$	$1/8$ $1/8$	200 200	60 80	8	200
Индикатор многооборотный (ЛИЗ)	1МИГ	1	0—	4	3	$1/8$	200	80		
	2МИГ	2	1000 0—	8	4	$1/8$	200	80	8	200
	05205	2	2000 0— 5000	5	4	$1/8$	150	70		
Индикатор рычажно-зубчатый (КРИН)	ИРБ ИРТ	10 10	± 40 ± 40	10 10	5 5	$1/8$ $1/8$	30 50	20 30	5 и 8 5 и 8	50
Рычажно-пружинная — миникатор (ЛИЗ): с коротким накоплением с длинным накоплением	ИРП	1	± 40	1	0,5	$1/8$	20	12	4 и 8	90
		2	± 80	2	1,0	$1/8$	3 (не менее)	—	4 и 8	
Рычажно-зубчатая бокового действия	ГРБ	2	0—160	—	2,0 (4,0)	$1/8$	30	12	4 и 8	—
	2—30 ГРБ 2—60	2	0—160	—	2,0 (4,0)	$1/8$	60	25	4 и 8	—

Примечания:

1. Для всех головок, кроме ИГ и ГРЗ, под погрешностью понимается сумма абсолютных значений наибольших положительной и отрицательной погрешностей при прямом или обратном ходе измерительного стержня.

2. Под погрешностью на участке понимается: для пружинных и рычажно-зубчатых головок — погрешность в диапазоне ± 30 делений шкалы, для пружинно-оптических — в диапазоне 100 делений, для индикаторов МИГ — в диапазоне одного оборота, для рычажно-зубчатых индикаторов — в диапазоне 0,1 мм, для рычажно-пружинной головки — в диапазоне 20 делений и для рычажно-зубчатой головки бокового действия — в диапазоне 20 (в скобках — 40) делений.

* — для микрокаторов с малым измерительным усилием (ИГПУ); ** — для микрокаторов с регулируемым измерительным усилием (ИГПР).

Техническая характе
(по ГОСТ 868—63, ГОСТ 9244—59

Основные показатели	по ГОСТ 9244—59 и инструкции завода						
	3—6	6—10	10—18	6—10	10—18	18—35	35—50
Диапазон измерения в мм							
Цена деления в мм	0,001			0,01			
Максимальная глуби- на измерения в мм, не менее	20	30	50	100	130	135	150
Наименьшее переме- щение измерительного стержня в мм	±0,05			0,6	0,8	1,5	
Пределы допускаемой погрешности в мкм:							
в пределах все- го переме- щения изме- рительного стержня	±2	±2,5		12			15
на любом уча- стке 0,1 мм	—			8			
Вариация показаний в мкм	1			3			
Измерительное уси- лие в сН	200			250—450			

Нутромеры

Нутромеры предназначены для измерения диаметров отверстий. Заводом КРИН выпускаются индикаторные нутромеры по ГОСТ 868—63 (рис. 4.25), а заводом «Калибр» — нутромеры по ГОСТ 868—63 и ГОСТ 9244—59¹ (рис. 4.26).

Каждый нутромер имеет измерительную головку, по шкале которой отсчитывается отклонение диаметра измеряемого отверстия от размера, на который предварительно настраивается прибор. Настройка осуществляется по блоку концевых мер со специальными боковичками, по микрометру или образцовому кольцу.

Нутромеры по ГОСТ 868—63 имеют один подвижный и один неподвижный наконечники и центрирующий мостик, обеспечивающий установку наконечников по диаметру измеряемого отверстия.

У нутромеров по ГОСТ 9244—59 имеются два подвижных и два неподвижных (центрирующих) наконечника (шарика). К этому нутромеру прилагается набор сменных измерительных вставок и упор, обеспечивающий правильную установку нутромера, если на изделии имеется плоскость, перпендикулярная оси отверстия.

¹ Взамен ГОСТ 9244—59 разрабатывается новый стандарт.

ТАБЛИЦА 4.16

риетки нутромеров
и материалы завода «Калибр»)

Тип нутромера					
по ГОСТ 868—63					
50—100	100—160	160—250	250—450	450—700	700—1000
	0,01			0,01	
200	300	400	500	Не ограничена	
	4		6	8	
	20			25	
	8			8	
	3			3	
400—700			500—900		

Техническая характеристика нутромеров дана в табл. 4.16.

Поверка нутромеров с ценой деления 0,01 мм производится по ГОСТ 8.099—73, а с ценой деления 0,001 и 0,002 мм — по Инструкции 154—63 КСМИП.

Ряд иностранных фирм выпускает цанговые нутромеры с нижним пределом измерения от 0,5 мм, имеющие измерительные головки в виде разрезных пружинных цанг. Выпускаются также специальные конструкции нутромеров: с коленчатым измерительным стержнем (фирма «Carl Mahg» ФРГ), для измерения глухих отверстий (фирма «Roch-Etalon», Швейцария) и др.

Скобы с отсчетным устройством (ГОСТ 11098—64)

Скобы предназначены для измерения наружных размеров изделий. Они разделяются на рычажные (тип СР, ЛИЗ, рис. 4.27) со встроенным в корпус 3 отсчетным устройством 2 и индикаторные (тип СИ, завод КРИН, рис. 4.28), оснащенные измерительной головкой 2. Одна измерительная пятка 5 скоб жесткая (переставная), а вторая 1 — подвижная; перемещение подвижной пятки передается на стрелку отсчетного устройства.

Предел перемещения переставной пятки у скоб типа СР — 25 мм, а у скоб типа СИ — 50 мм.

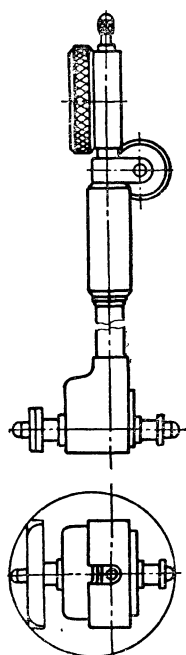


Рис. 4.25

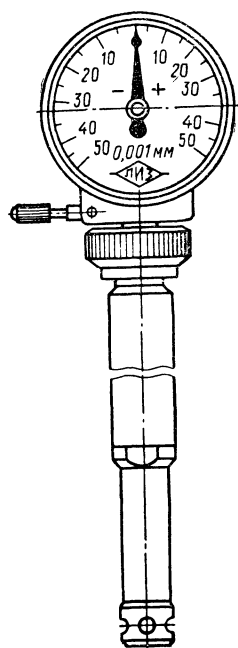
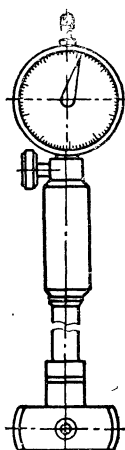


Рис. 4.26

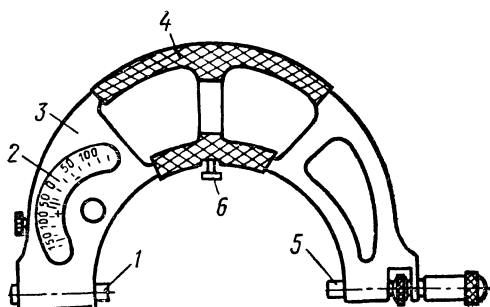


Рис. 4.27

Скобы имеют арретир, теплоизоляционные накладки 4 и упор 6 (при верхнем пределе измерения 50—200 мм), а скобы типа СР, кроме того, указатели пределов поля допуска.

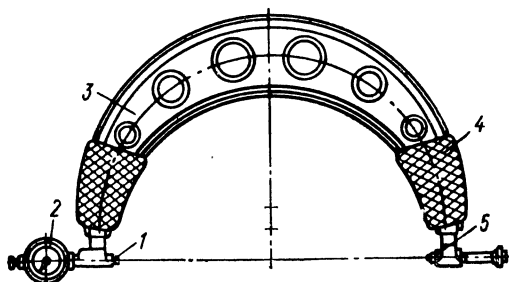


Рис. 4.28

Техническая характеристика скоб приведена в табл. 4.17. Перед измерением скобы устанавливаются на измеряемый размер по концевым мерам длины.

Микрометры рычажные

Приборы (заводы ЛИЗ и КРИН, ГОСТ 4381—68) изготавливаются трех типов: МРЗ — зубомерные для измерения длины общей нормали (см. главу восьмую); МР — со встроенным в корпус отсчетным устройством (рис. 4.29); МРИ — с измерительной головкой (рис. 4.30).

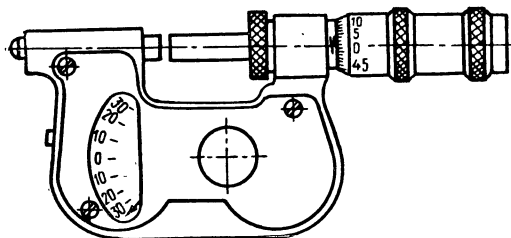


Рис. 4.29

Цена деления барабана микрометрической головки у всех типов микрометров — 0,01 мм, а перемещение микрометрического винта — 25 мм. Микрометры с верхними пределами измерений более 150 мм имеют передвигаемые или сменные пятки, обеспечивающие возможность измерения любого размера в диапазоне измерения данного микрометра. Микрометры с верхними пределами измерений 50 мм и более снабжаются установочными мерами.

Техническая характеристика микрометров дана в табл. 4.18.

В новых конструкциях скоб со встроенным отсчетным устройством и рычажных микрометров ЛИЗ диапазон показаний расширен до ± 140 мкм при цене деления 2 мкм. Пределы допускаемой погрешности на всем диапазоне показаний не превышают 2 мкм, а в пределах ± 30 делений шкалы 1 мкм [11].

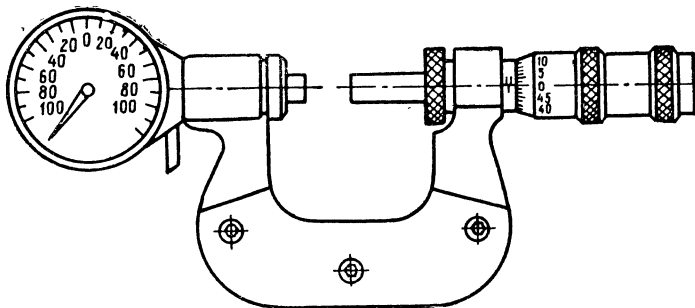


Рис. 4.30

Микрометры настольные со стрелочным отсчетным устройством (ЛИЗ, ГОСТ 10388—73). Такие микрометры (рис. 4.31) применяются в основном в приборостроительной промышленности для измерения размеров небольших изделий. При измерении изделия устанавливаются

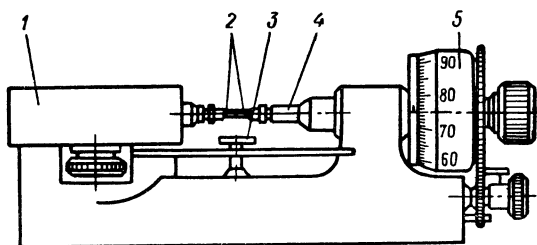


Рис. 4.31

на столик 3 между измерительными наконечниками 2 стрелочного отсчетного устройства 1 и микрометрической головки 5. В отличие от обычных микрометров измерительный стержень 4 микрометрической головки перемещается в осевом направлении без вращения. К микрометрам прилагаются сменные измерительные наконечники: плоские, ножевидные и тарельчатые.

Техническая характеристика микрометров приведена в табл. 4.19. Поверка скоб с отсчетным устройством производится по ГОСТ 12397—66, микрометров рычажных по ГОСТ 16969—71 и Методическим указаниям № 235, а микрометров настольных — по Методическим указаниям № 313 КСМИП.

ТАБЛИЦА 4.17

Техническая характеристика скоб с отсчетным устройством
(по ГОСТ 11098—64)

Тип скобы	Диапазон измерений в мм	Отсчетное устройство		Пределы допускаемой погрешности в мкм					Измерительное усилие в сН	Колебание измерительного усилия одной скобы в сН, не более
		Цена деления в мм, не более	Диапазон показаний в мм, не менее	± 10 делений от нулевого штриха	Св. ± 10 делений от нулевого штриха	На нормированном участке 0,1 мм	На любом участке 3 мм			
СР	0—25	0,002	$\pm 0,03$	± 1	± 2	—	—	600 ± 100	150	
	25—50									
	50—75									
	75—100									
СИ	100—125	0,005	$\pm 0,15$	$\pm 2,5$	± 5	—	—	800 ± 200	200	
	125—150									
	0—50	0,01	3	—	—	± 6	± 10	600 ± 100	150	
	50—100									
	100—200									
	200—300									
	300—400			—	—	± 8	± 12	800 ± 200	200	
	400—500									
	500—600									
	600—700									
	700—850		5	—	—	—	± 15	1000 ± 200	250	
	850—1000									
Примечание. Вариация показаний скоб не должна превышать $1/3$ цены деления.										

ТАБЛИЦА 4.13

Техническая характеристика рычажных микрометров
(по ГОСТ 4381—68)

Тип микрометра	Диапазон измерений в мм	Отсчетное устройство		Пределы допускаемой погрешности в мкм (\pm) на участке шкалы в мм			Измерительное усилие в сН	Колебание измерительного усилия в сН, не более	Номинальные длины установочных мер в мкм	Допускаемые отклонения в мкм	
		Цена деления в мм, не более	Диапазон показаний в мм, не менее	$\pm 0,03$	$\pm 0,10$	1,00				Длины установочных меры	от плоскопараллельных по- лительных изме- рительных по- верхностей
МР	0—25	0,002	$\pm 0,03$	3	—	—	600 ± 100 или 400 ± 50	100	—	—	—
	25—50			3	—	—				$\pm 0,5$	$\pm 0,5$
МРИ	50—75	0,002	$\pm 0,10$	4	—	—	800 ± 200	200	25 50 75 100 125 175 225 275 325 и 375 325 и 375 425 и 475	$\pm 0,75$	$\pm 0,75$
	75—100			4	—	—				$\pm 0,75$	$\pm 0,75$
	100—125			—	5	—				$\pm 1,5$	1
	125—150			—	5	—				$\pm 1,5$	1
	150—200			—	5	—				± 2	1,25
	200—250	0,002	$\pm 0,10$	—	6	—				$\pm 2,5$	1,75
	250—300			—	6	—				$\pm 2,5$	1,75
	300—400			—	6	—				± 3	—
	300—400	0,01	3	—	7	—				± 3	—
	400—500	0,002	$\pm 0,10$	—	7	—				$\pm 3,5$	—

Продолжение табл. 4.18

Тип микрометра	Диапазон измерений в мм	Отсчетное устройство		Пределы допускаемой погрешности в мкм (\pm) на участке в мм		Измерительное усилие в сН	Колебание измерительного усилия в сН, не более	Номинальные длины установочных мер в мкм	Допускаемые отклонения в мкм	
		Цена деления в мм, не более	Диапазон показаний в мм, не менее	$\pm 0,03$	$\pm 0,10$				Длины установочной меры	от плоскостности и параллельности поверхностей
МРИ	400—500	0,01	3	—	8	800 \pm 200	200	425 и 475	$\pm 3,5$	—
	500—600			—	10			525 и 575	± 4	—
	600—700			—	12			625 и 675	± 5	—
	700—800			—	14			725 и 775	± 6	—
	800—900			—	16			825 и 875	± 7	—
	900—1000			—	13			925 и 975	± 8	—
	1000—1200	0,01		—	20	1000 \pm 200	250	1025; 1075; 1125; 1175	± 10	—
	1200—1400			—	25			1225; 1275; 1325; 1375	± 12	—
	1400—1600			—	28			1425; 1475; 1525; 1575	± 14	—
	1600—1800			—	32			1625; 1675; 1725; 1775	± 16	—
	1800—2000			—	36			1825; 1875; 1925; 1975	± 18	—

Примечания:

1. Цена деления барабана микрометров — 0,01 мм.
2. Перемещение микрометрического винта — 25 мм.
3. Пределы допускаемой погрешности отсчетного устройства с ценой деления 0,002 мм (при поверке от нулевого штриха на участке $\pm 0,03$ мм) $\pm 0,001$ мм, а вариация показаний не более 0,0006 мм.
4. Отсчетное устройство с ценой деления 0,002 мм и диапазоном показаний $\pm 0,10$ мм должно соответствовать требованиям ГОСТ 6934—62 «Головки измерительные рычажно-зубчатые», а с ценой деления 0,01 мм — требованиям ГОСТ 577—68 «Индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм» для 1-го класса точности.

ТАБЛИЦА 4.19

Техническая характеристика микрометров настольных со стрелочным отсчетным устройством
(по ГОСТ 10388—73)

Основные показатели	Значения
Диапазон измерения прибора в мм, не менее	0—10
Цена деления шкалы барабана в мм, не более	0,01
Диапазон показаний в мм, не более	$\pm 0,05$
Цена деления шкалы отсчетного устройства в мм, не более	0,001
Пределы допускаемой погрешности в мм по шкале: отсчетного устройства	$\pm 0,0005$
микрометра, включая погрешность отсчетного устройства	$\pm 0,002$
Вариация показаний в мм	0,00025
Измерительное усилие в сН	50 \pm 20 или 200 \pm 50
Колебание измерительного усилия в сН, не более	30 или 40
Габаритные размеры в мм	180 \times 78 \times 70
Масса прибора в кг	1,8

7. ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И ОПТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

Оптиметры (ГОСТ 5405—64, ГОСТ 5.189—71)

Оптиметры, выпускаемые Ленинградским оптико-механическим объединением (ЛОМО), предназначены для измерения методом сравнения калибров, плоскопараллельных концевых мер длины и точных изделий. Приборы основаны на принципе оптического рычага.

Вертикальный оптиметр с окуляром ИКВ (ОВО-1 по ГОСТ 5405—64). Прибор (рис. 4.32) состоит из вертикальной стойки 1, в кронштейне 4 которой закреплена автоколлимационная трубка (трубка оптиметра) 2, и регулируемого стола 7. При перемещении измерительного наконечника изображение шкалы 5, наблюдаемое в окуляр 3, смещается относительно неподвижного индекса 6.

Горизонтальный оптиметр ИКГ (ОГО-1). Прибор (рис. 4.33) состоит из горизонтальной стойки 1 с валом 4, на котором расположены кронштейны 5 и 8 с трубкой оптиметра 9 и пинолью 6, стола 7 и механизмов подъема 2, поворота 3 и поперечного перемещения 10 стола. При наружных измерениях изделие устанавливают на столе и, перемещая стол, добиваются правильной ориентировки изделия относительно наконечников трубки оптиметра и пиноли.

Внутренние измерения в пределах от 1 до 13,5 мм производят с помощью электроконтактной головки ГК-3 (рис. 4.34), закрепляемой на вертикальной колонке оптиметра, а в пределах от 13,5 до 400 мм—с помощью специальных держателей с дугами, закрепляемых на трубке оптиметра и пиноли.

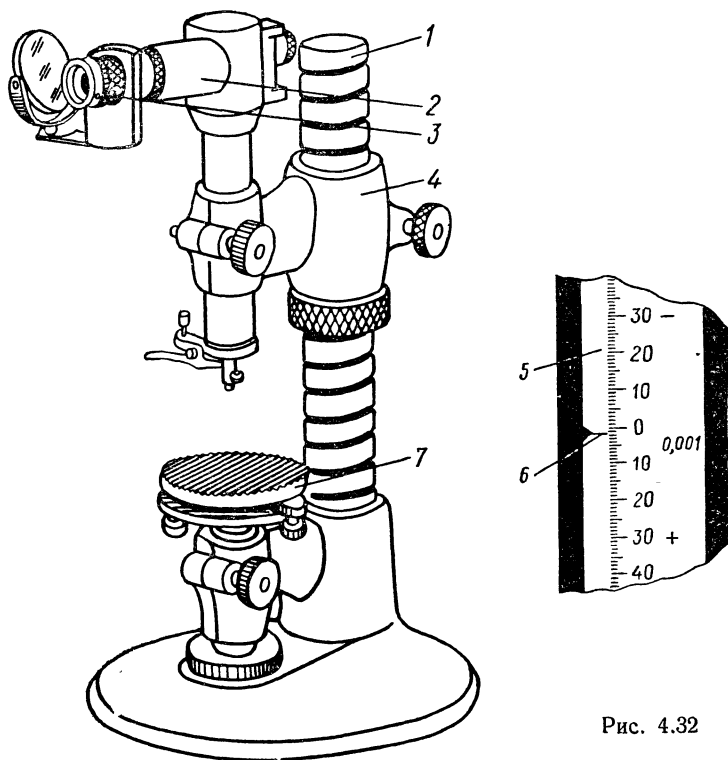


Рис. 4.32

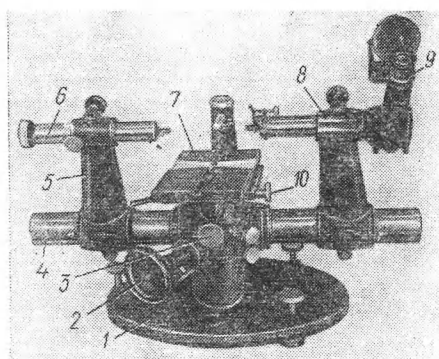


Рис. 4.33

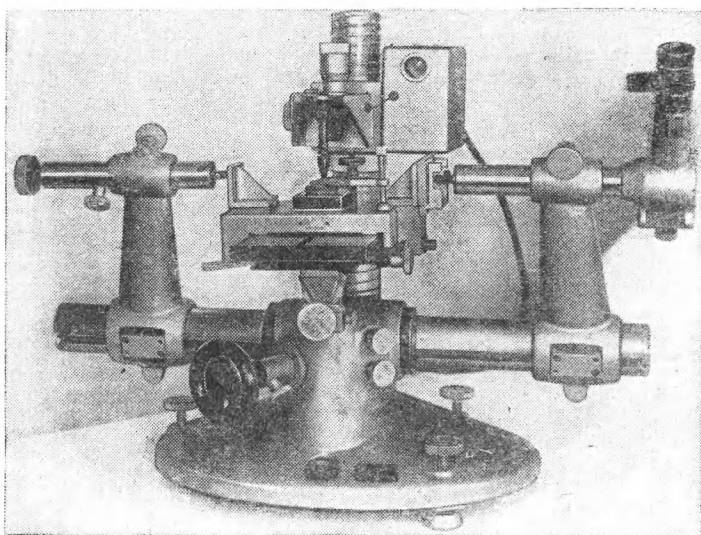


Рис. 4.34

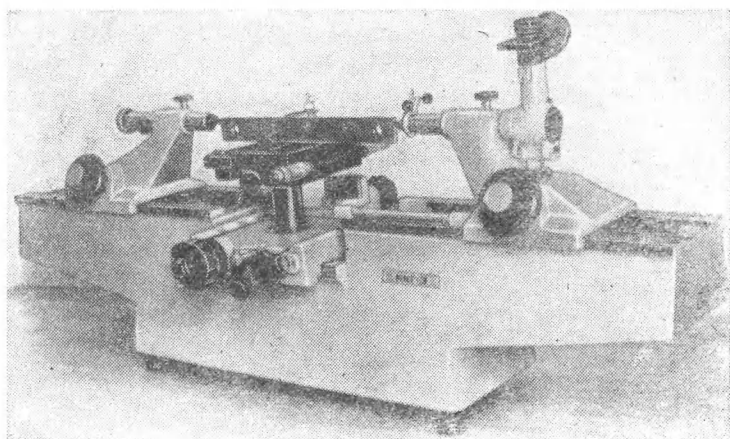


Рис. 4.35

На рис. 4.35 изображен горизонтальный оптиметр ИКГ-3 (ОГО-1). Основанием прибора служит литая станина. Измерения внутренних размеров осуществляются также с помощью электроконтактной головки ГК-3 или приспособления ИП-8 с дугами (рис. 4.36). Вертикальные и горизонтальные проекционные оптиметры ИКВ-3 (ОВЭ-1, рис. 4.37), ИКП-3 (ОВЭ-02, рис. 4.38) и ОГЭ-1 оснащены экраном, что облегчает отсчет по шкале прибора.

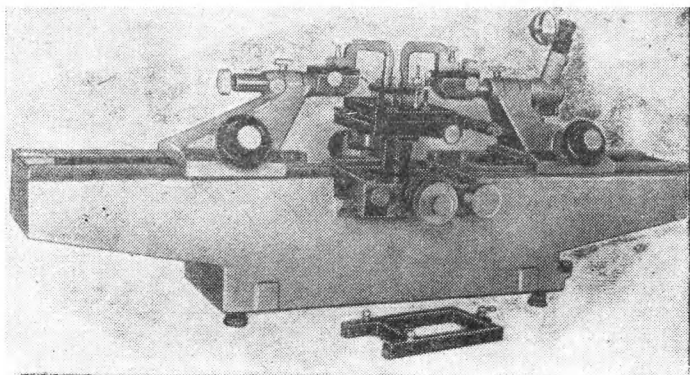


Рис. 4.36

К оптиметрам прилагаются: сменные измерительные наконечники (по ГОСТ 11007—66), державка для концевых мер, приспособление для измерения диаметра проволочек (ПИ-1), накладные столы к вертикальным оптиметрам, вертикальные и горизонтальные центры (ПП-2 и ПП-3) к горизонтальным оптиметрам, приспособление ИП-9 для измерения среднего диаметра внутренней резьбы.

Техническая характеристика оптиметров приведена в табл. 4.20.

Оптиметры, выпускаемые иностранными фирмами («Carl Zeiss», «Leitz» и др.), имеют примерно такие же характеристики.

Проверка оптиметров с ценой деления 0,001 мм производится по Инструкции 108—55¹ КСМИП, а с ценой деления 0,0002 мм — по ГОСТ 12421—66.

Длиномеры оптические (ЛОМО, ГОСТ 14028—68)

Длиномеры предназначены для измерений длин и диаметров изделий методами непосредственной оценки и сравнения. В соответствии с ГОСТ 14028—68 изготавливаются три типа длиномеров: вертикальные окулярные (тип ДВО), вертикальные и горизонтальные с проекционным экраном (типы ДВЭ и ДГЭ). Такие же типы длиномеров выпускаются некоторыми иностранными фирмами.

¹ Взамен Инструкции 108—55 разрабатывается ГОСТ.

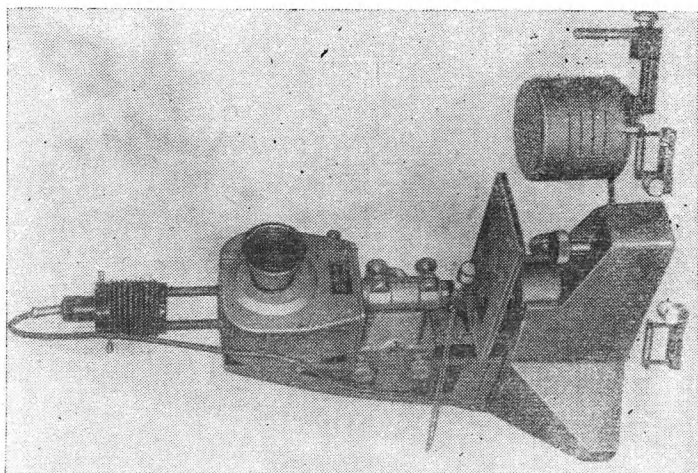


Рис. 4.38

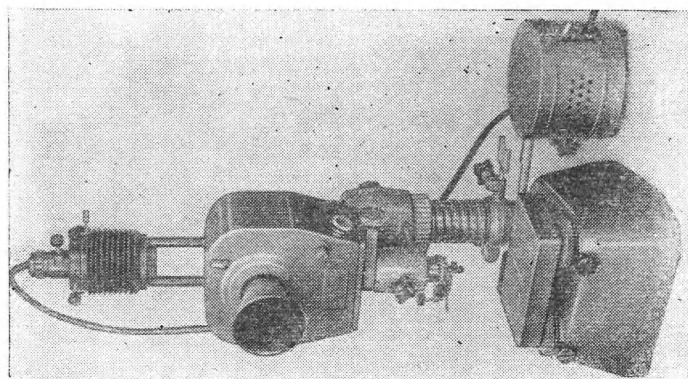


Рис. 4.37

ТАБЛИЦА 4.20

Техническая характеристика оптиметров
(по ГОСТ 5405—64 и ГОСТ 5.189—71)

Основные показатели	Вертикальные оптиметры				Горизонтальные оптиметры			
	с окуляром		проекционные		с окуляром		проекционный	
	ОВО-1 (ИКВ)	ОВЭ-1 (ИКВ-3)	ОВЭ-1 (ИКВ-3)	ОВЭ-02 (ИКП-3)	ИКГ	ОГО-1 (ИКГ-3)	ОГЭ-1	
Цена деления шкалы в мм	0,001 ±0,1	0,001 ±0,1	0,0002 ±0,025	0,0002 ±0,025	0,001 ±0,1	0,001 ±0,1	0,001 ±0,1	0,001 ±0,1
Диапазон показаний в мм:								
Диапазон измерений в мм:	0—180	0—200	0—160	0—160	0—350	0—500	0—500	0—500
наружных длин и диаметров	—	—	—	—	13,5—150	13,5—400	13,5—400	13,5—400
внутренних длин	—	—	—	—	13,5—150	13,5—150	13,5—150	13,5—150
внутренних длин и диаметров с помощью электроконтактной головки	—	—	—	—	1—13,5	1—13,5	1—13,5	1—13,5
Измерительное усилие в сН, не более:								
при наружных измерениях	200	200	50—150	50—150	200	200	200	200
при внутренних измерениях	—	—	—	—	250	250	250	250
Пределы допускаемой погрешности в мм на любом участке шкалы:								
от 0 до ±0,06 мм	±0,0002	±0,0002	—	—	±0,0002	±0,0002	±0,0002	±0,0002
св. ±0,06 мм	±0,0003	±0,0003	—	—	±0,0003	±0,0003	±0,0003	±0,0003
от 0 до ±0,015 мм	—	—	±0,00007	±0,00007	—	—	—	—
св. ±0,015 мм	—	—	±0,00010	±0,00010	—	—	—	—
Масса в кг, не более	18	18	50	50	40	100	100	100
Габаритные размеры в мм, не более	300×300× ×500	260×200× ×630	280×500× ×700	280×500× ×700	600×400× ×340	1150×460× ×520	1150×460× ×520	1150×460× ×520
Масса измеряемой детали в кг, не более	3	3	3	3	3	10	10	10

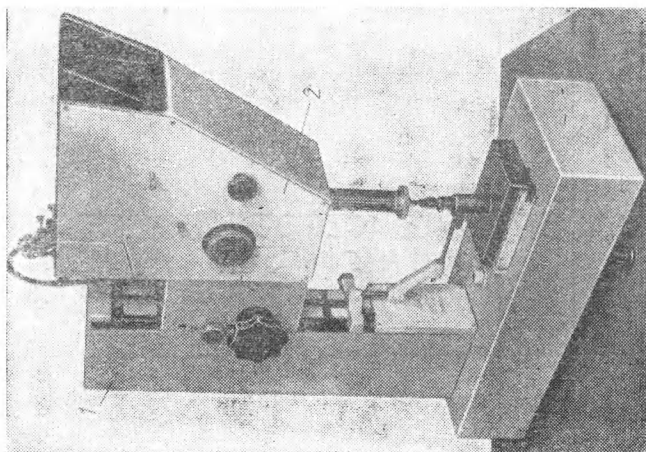


Рис. 4.40

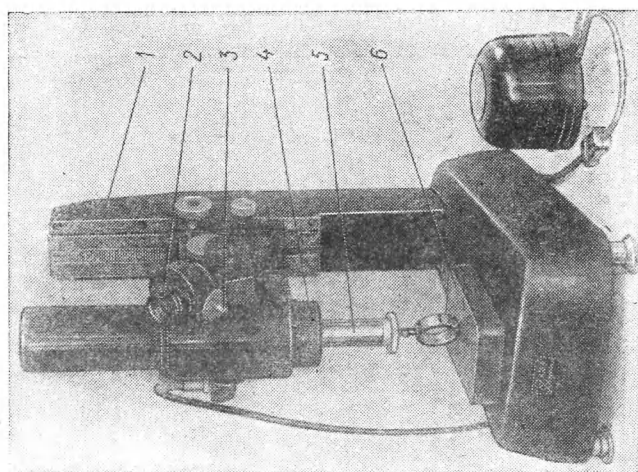


Рис. 4.39

Вертикальные окулярный и проекционный дальномеры ИЗВ-2 (ДВО, рис. 4.39) и ИЗВ-3 (ДВЭ, рис. 4.40) состоят из вертикального штатива 1, измерительной головки 4, съемного ребристого стола 6 и ряда дополнительных приспособлений: плоских столиков ст-5 и ст-6 для измерения среднего диаметра резьбы методом проволочек и мелких деталей с выточками и уступами, шарового столика ст-8 для измерения тонких листовых деталей. К дальномеру ИЗВ-2 прилагается, кроме того, центрировочный микроскоп, а к дальномеру ИЗВ-3 — круглый стол $\varnothing 100$ мм.

Измерительная головка окулярного дальномера состоит из измерительного стержня 5 со шкалой, отсчетного микроскопа 2 со спиральным окулярным микрометром и регулятора скорости.

Для отсчета по шкале (рис. 4.41) окулярного дальномера вращают головку 3 (рис. 4.39), пока длинный штрих миллиметровой шкалы не окажется между двумя ближайшими спиралями. Цифры около длинных штрихов указывают число целых миллиметров, десятые доли миллиметра отсчитывают по продольной шкале, а сотые и тысячные доли — по круговой шкале относительно неподвижного индекса. На рис. 4.41 отсчет равен 46,362 мм.

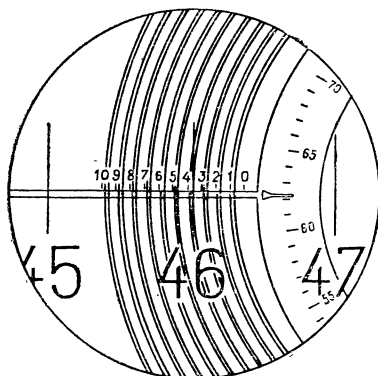


Рис. 4.41

Горизонтальный проекционный дальномер ИКУ-2 (ДГЭ по ГОСТ 14028—68) состоит из станины (рис. 4.42), пинольной и измерительной бабок, предметного стола, приспособлений для внутренних измерений (дуг) и накладного столика. При измерении на дальномере могут быть использованы все приспособления к горизонтальному оптиметру.

Техническая характеристика дальномеров дана в табл. 4.21.

На рис. 4.43 изображен горизонтальный дальномер ИЗА-2 (ЛОМО), предназначенный для проверки шкал.

Проверка дальномеров производится в соответствии с ГОСТ 12440—66 и ГОСТ 12441—66.

Измерительные машины (ГОСТ 10875—64)

Машины предназначены для измерения больших нутромеров, концевых мер, пробок, колец, точных изделий методами непосредственной оценки и сравнения.

Измерительные машины типа ИЗМ, выпускаемые ЛОМО (рис. 4.44), состоят из станины 1, левой бабки 2 с пинолью 3, правой бабки 5 с микроскопом 7 и трубкой оптиметра 6, люнетов 4 и предметного стола для установки измеряемых объектов. Машины имеют три шкалы: «метровую», состоящую из пластинок с двойными штрихами, расположенных вдоль станины через каждые 100 мм; 100-миллиметровую с ценой

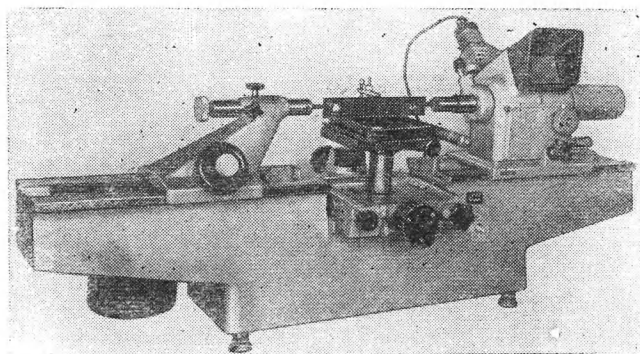


Рис. 4.42

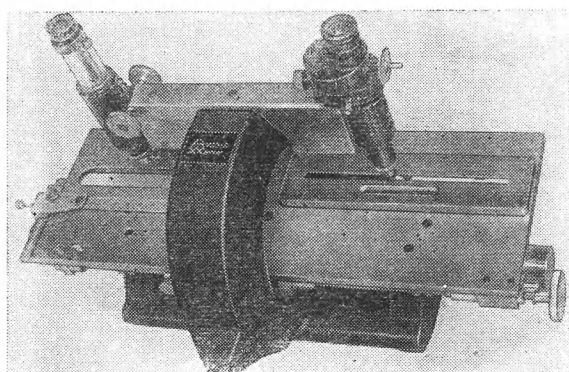


Рис. 4.43

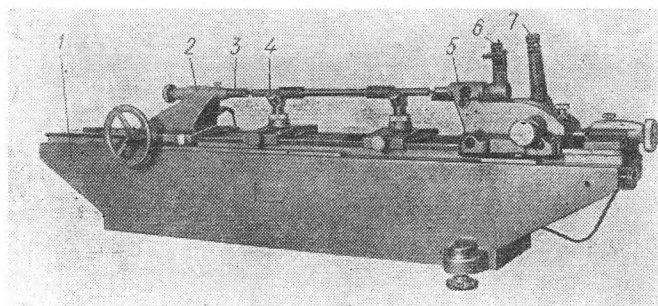


Рис. 4.44

ТАБЛИЦА 4.21
Техническая характеристика дальномеров
(по ГОСТ 14028—68 и [3])

Основные показатели	Вертикальные дальномеры				
	Окулярные			Проекционные	
	ИЗВ-1 (ЛОМО)	ИЗВ-2	«Carl Zeiss» (ГДР)	ИЗВ-3 (ЛОМО)	«Carl Zeiss» (ГДР)
Цена наименьшего деления шкалы отсчетного устройства в мм	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Диапазон измерения по ос- новной шкале в мм	0—100	0—100	0—100	0—100	0—100
Диапазон измерения в мм: наружных длин и диа- метров	0—250	0—250	0—250	0—250	0—200
внутренних длин	—	—	—	—	—
внутренних диаметров	—	—	—	—	—
и длин с электро- контактной голов- кой	—	—	—	—	—
Измерительное усилие в сН	200±50	120±50 200±50	200±50	120±50; 200±50	100; 200
Погрешность Дальномера в мкм без учета поправок по аттестату:	$\pm \left(1,5 + \frac{L}{100} \right)$	$\pm \left(1,4 + \frac{L}{100} \right)$	$\pm \left(1,5 + \frac{L}{100} \right)$	$\pm \left(1,2 + \frac{L}{100} \right)$	$\pm \left(1,5 + \frac{L}{100} \right)$
при наружных изме- рениях	—	—	—	—	—
при внутренних изме- рениях	—	—	—	—	—
при внутренних изме- рениях с электро- контактным приспо- соблением	—	—	—	—	—
Масса дальномера в кг	54	36	57	—	—
Габаритные размеры длино- мера в мм	240×480×950	260×450×2600	500×350×890	200×575×660	500×500×815

Продолжение табл. 4.21

Основные показатели	Вертикальные дилномеры		Горизонтальные дилномеры			
	Проекционные		Проекционные		Окулярные	
	«Leitz» (ФРГ)	«Hilger and Watts» (Англия)	ИКУ-2 (ЛОМО)	«Hilger and Watts» (Англия)	«Carl Zeiss» (ГДР)	
Цена наименьшего деления шкалы отсчетного устройства в мм	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	
Диапазон измерения по осевой шкале в мм	0—100	0—100	0—100	0—100	0—100	
Диапазон измерения в мм: наружных длин и диаметров	0—200	0—200; 0—1000	0—500	0—330	0—450	
внутренних длин	—	—	5—400	11—250	1—200	
внутренних диаметров	—	—	5—400	11—150	10—150	
и длин с электроконтактной головкой	—	—	1—13,5	1—12,7	1—50	
Измерительное усилие в сН	200±50	200±50	180—250	220	150—250	
Погрешность дилномера в мкм без учета поправок по аттестату:	—	—	$\pm \left(1,4 + \frac{L}{100} \right)$	—	$\pm \left(1,5 + \frac{L}{100} \right)$	
при наружных измерениях	—	—	$\pm \left(1,9 + \frac{L}{100} \right)$	—	$\pm \left(2 + \frac{L}{100} \right)$	
при внутренних измерениях	—	—	±2	±1	±2	
при внутренних измерениях с электроконтактным приспособлением	—	—	100	80	80	
Масса дилномера в кг	300×300×785	340×340×860	1150×460×520	560×355×910	350×500×890	
Габаритные размеры дилномера в мм	—	—	—	—	—	

Примечание. L — измеряемая длина в мм.

деления 0,1 мм, находящуюся в правой части станины; шкалу трубки оптиметра. При измерении, в зависимости от размера измеряемого объекта, левую бабку устанавливают над соответствующей пластинкой «метровой» шкалы, а правую бабку перемещают в пределах 100-миллиметровой шкалы. Изображение двойных штрихов проектируют оптической системой на 100-миллиметровую шкалу и наблюдают через микроскоп. Тысячные и сотые доли миллиметра отсчитываются по шкале оптиметра.

Суммарный отсчет (рис. 4.45) при измерении методом непосредственной оценки равен 450,198 мм ($400 + 50 + 0,2 - 0,002$) мм.

При измерении методом сравнения бабки устанавливаются на измеряемый размер по концевым мерам длины, а отклонения отсчитываются по шкале оптиметра.

Внутренние размеры измеряют как на горизонтальном оптиметре с помощью приспособлений с дугами (при размерах св. 13,5 мм) или электроконтактной головки ГК-3 (в диапазоне 1 — 13,5 мм).

Для точных сравнительных измерений, по требованию заказчика, завод поставит специальную измерительную бабку для установки трубки контактного интерферометра взамен трубки оптиметра.

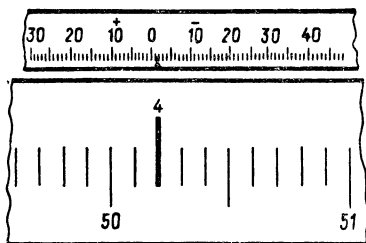


Рис. 4.45

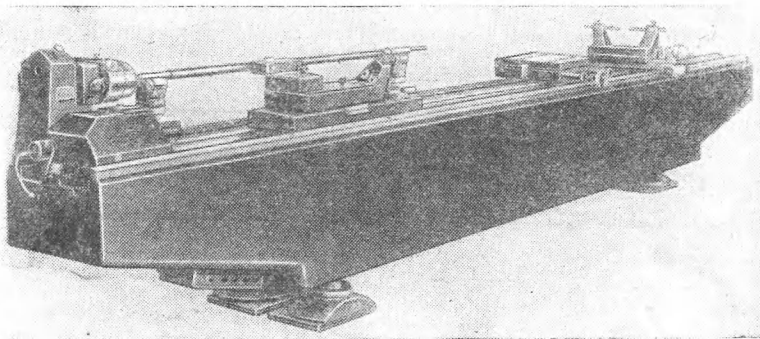


Рис. 4.46

Проверка машин производится по ГОСТ 13008—67.

В универсальной измерительной машине (рис. 4.46) фирмы «Carl Zeiss» (ГДР) «метровая» шкала выполнена так же, как в машине типа ИЗМ, а 100-миллиметровая шкала расположена в нижней части каретки, перемещающейся вдоль всей станины. В верхней части каретки, которая может быть смещена относительно нижней части, расположены

измерительное устройство машины (контактное или визирный микроскоп) и отсчётный микроскоп с оптическим микрометром; в поле зрения микроскопа одновременно видны все шкалы машины. К машине прилагается большое число различных приспособлений, позволяющих осуществлять измерения наружных и внутренних размеров, элементов резьбы длинных ходовых винтов, расстояний между штрихами и др.

Техническая характеристика измерительных машин дана в табл. 4.22.

ТАБЛИЦА 4.22

Техническая характеристика измерительных машин

Основные показатели	Измерительные машины	
	ИЗМ (ЛОМО)	Универсальная «Carl Zeiss» (ГДР)
Наименьшая цена деления шкалы в мм	0,001	0,001
Диапазон измерений:		
наружных размеров в м	0—1; 0—2; 0—4	0—3
внутренних размеров в мм	От 1	От 30
Наибольший диаметр цилиндрического изделия, установленного на люнетах, в мм	50	60
Наибольшая масса измеряемого изделия, устанавливаемого на столе, в кг	10	60
Пределы допускаемой погрешности измерения концевых мер методом непосредственной оценки при введении поправок на шкалы в мкм	$\pm(0,4 + 4 \cdot 10^{-3}L)$	—
Примечание. L — измеряемая длина в мм. По ГОСТ 10875—64 машины должны выпускаться с верхним пределом измерения 1, 2, 4, 6, 8 и 12 м.		

Измерительные микроскопы

Микроскопы предназначены для измерения в прямоугольных и полярных координатах линейных и угловых размеров резьбовых изделий, режущего инструмента, профильных шаблонов, кулачков и других изделий, а также расстояний между осями отверстий и т. п.

Измерения на большинстве микроскопов могут производиться проекционным методом (в проходящем и отраженном свете), методом осевого сечения (с помощью измерительных ножей), контактным методом (с помощью контактного приспособления типа ИЗО-1).

Микроскопы условно разделяются на инструментальные, универсальные и прочие.

Инструментальные микроскопы (ГОСТ 8074—71 и ГОСТ 5.188—72). Микроскопы этого типа разделяются на малые (ММИ), большие (БМИ),

рис. 4.47) и бинокулярные (БИМ). Основные части микроскопа: основание 1, осветитель 2 для освещения снизу измеряемых изделий, стол 3, перемещающийся в двух взаимно перпендикулярных направлениях,

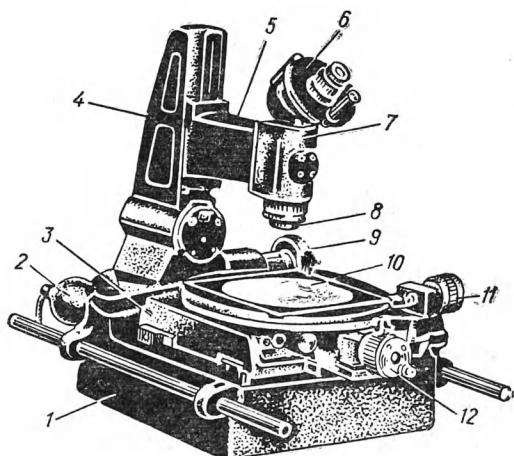


Рис. 4.47

стойка 4, кронштейн 5, окулярная головка 6, тубус 7 и объектив 8 визирного микроскопа, винт 9 для наклона стойки 4 при измерении резьбы, круглый поворотный стол 10 с круговой шкалой и нониусом, микрометрические головки 11 и 12 для отсчета перемещений стола 3.

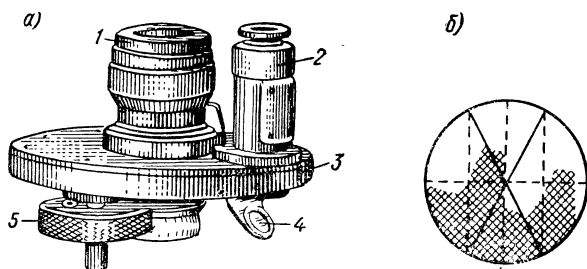


Рис. 4.48

Плоские изделия при измерении укладывают на стекло стола, а цилиндрические и конические устанавливают в центрах или в V-образных подставках, закрепляемых на столе.

Изображение контура изделия проектируется на штриховую пластинку (рис. 4.48, б), расположенную в корпусе 3 окулярной головки (рис. 4.48, а) и рассматривается через окуляр 1. Для измерения

углов штриховая пластинка может быть повернута на 360° вращением рукоятки 5. Угол поворота определяется по круговой шкале, освещаемой зеркальцем 4 или специальным осветителем и наблюдаемой через окуляр 2. На рис. 4.49 отсчет по шкале равен $121^\circ 34'$.

У малого инструментального микроскопа в отличие от большого нет круглого поворотного стола, и он имеет меньшие диапазоны измерения.

У бинокулярного микроскопа перемещения стола определяются по шкалам с помощью проекционного отсчетного устройства. Вместо окулярной головки микроскоп имеет сменные кассеты: угломерную,

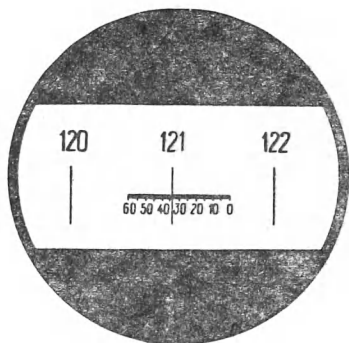


Рис. 4.49

с дугами разной кривизны и с набором профилей метрической резьбы.

Универсальные микроскопы (ЛОМО). Микроскоп УИМ-21 (УИМ-200 по ГОСТ 14968—69, рис. 4.50) состоит из станины 1, по направляющим которой перемещаются в двух взаимно перпендикулярных направлениях продольная каретка 2 со столом или центровыми бабками 4 и поперечная каретка, несущая стойку 10 с визирным микроскопом 11, закрепленным в кронштейне 9. С каретками связаны точные стеклянные шкалы 3, отсчет по которым производится с помощью микроскопов 5 и 7, снабженных спиральными микрометрами 6 и 8.

Микроскопы УИМ-22 и УИМ-25 в отличие от БМИ имеют экран, на который проектируются отсчетные шкалы. Микроскоп УИМ-23 (УИМ-200Э по ГОСТ 14968—69, рис. 4.51) имеет проекционные визирную и отсчетную системы. Изображение контура измеряемого изделия проектируется на центральный экран, а шкалы отсчетных систем — на боковой экран. При измерении в отраженном свете контуры измеряемого объекта наблюдаются через бинокулярную насадку ОГУ-23. На этом приборе оператор может производить измерения в сидячем положении.

Микроскоп УИМ-24 (УИМ-500 по ГОСТ 14968—69, рис. 4.52) предназначен для измерения тяжелых (массой до 100 кг) и крупногабаритных изделий (длиной до 1000 мм). Изображение контура изделия при измерении в проходящем свете проектируется на экран, а при измерении в отраженном свете и методом осевого сечения — в поле зрения визирного микроскопа. Отсчеты перемещения кареток производятся по шкалам, наблюдаемым на экране. Прибор снабжен специальным подъемным устройством для установки тяжелых изделий.

К микроскопам выпускаются следующие принадлежности:

- 1) сменные объективы с увеличением: $1\times$; $1,5\times$; $3\times$; $5\times$; $9\times$;
- 2) осветительные устройства для окулярной угломерной головки и для работы в отраженном свете;
- 3) специальные окулярные головки: профильная, радиусная и двойного изображения;

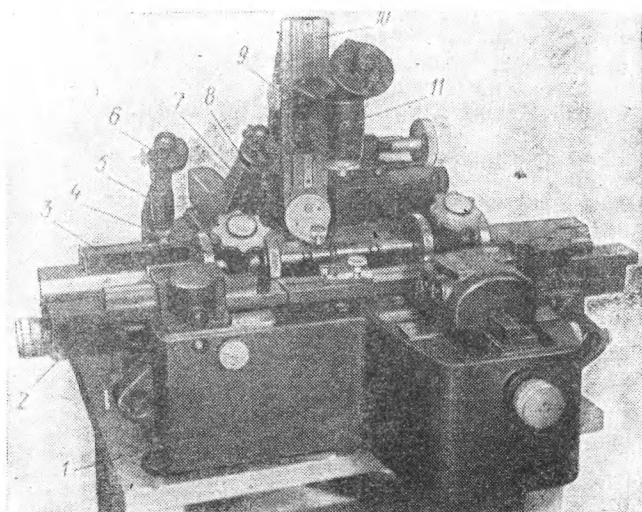


Рис. 4.50

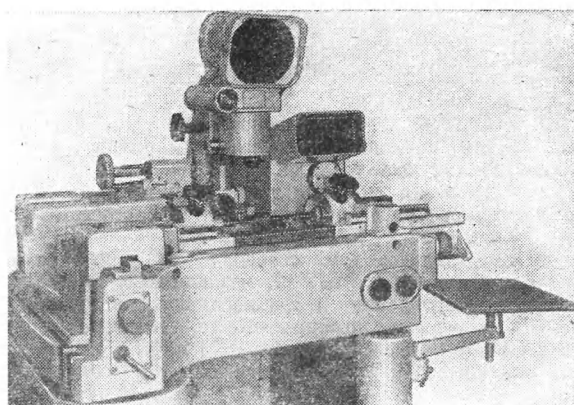


Рис. 4.51

- 4) проекционная насадка (ПН-7);
- 5) контактное приспособление для измерения диаметров отверстий от 5 мм (ИЗО-1);
- 6) бесконтактное приспособление для измерения внутренних размеров (перфлектметр ИЗО-2);
- 7) приспособление для измерения в вертикальном направлении (ИЗВ-21);
- 8) столы круглые (ст-9, ст-24, ст-25) для измерения в полярных координатах;
- 9) стол с высокими центрами (ст-22) для измерения изделий диаметром от 100 до 250 мм;
- 10) измерительная бабка угломерная (ИБ-21М, ИБ-23, ИБ-24);

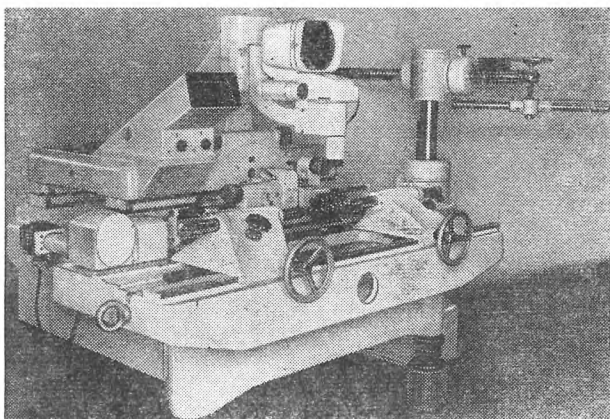


Рис. 4.52

- 11) измерительные ножи и приспособления для их закрепления;
- 12) трубины, прижимы, призматические опоры (ОП-21, ОП-23);
- 13) контрольный валик (калибр);
- 14) приспособления для фотографирования.

Поверка микроскопов производится в соответствии с ГОСТ 8003—71 и Инструкцией 106—56 КСМИП.

Прочие измерительные микроскопы. К этой группе приборов относятся микроскопы МИ-1, МИР-12, позволяющие производить измерения в одном направлении, и трехкоординатный микроскоп МКИ, используемый в часовой промышленности. Техническая характеристика микроскопов приведена в табл. 4.23 и 4.24.

Поверка микроскопов МИ-1 производится по Инструкции 278—65, а микроскопов МИР-12 в соответствии с Методическими указаниями № 314 КСМИП.

Ряд иностранных фирм («Opton», «Leitz» и др.) выпускает микроскопы с цифровой индикацией.

ТАБЛИЦА 4.23
Техническая характеристика измерительных микроскопов
(по ГОСТ 8074—71, ГОСТ 5.188—72, ГОСТ 14968—69 и данным заводов-изготовителей)

Основные показатели	ММИ	БМИ	БИМ	УИМ-21 (УИМ-200)	УИМ-22	УИМ-23 (УИМ-200Э)	УИМ-24 (УИМ-500Э)	УИМ-25	МИ-1	МИР-12	МКИ
Верхний предел измерения в мм в направлении: продольном поперечном вертикальном	75 25 —	150 50 100	150 75 —	200 100 100	100 100 100	200 100 —	500 200 —	150 100 100	50 — —	50 — —	100 100 75
Верхний предел измерения углов в град	360	360	360	360	360	360	360	360	360	—	—
Цена наименьшего деления шкал:											
отсчетной системы для измерения длин в мм	0,005	0,005	0,002	0,001	0,01	0,001	0,001	0,01	0,01	0,01	0,001
угломерной головки	1'	1'	1'	1'	1'	1'	1'	1'	1'	1'	—
нонуса круглого стола	—	3"	2"	30"	3"	30"	5"	3"	10"	—	—
Наибольший диаметр изделий в мм, устанавливаемых в центрах	55 100	85 130	100 130	100 —	45 —	100 —	200 —	45 —	— —	— —	— —
в призматических опорах	200	235 (315)	235 (315)	700	310	700	1000	310	—	—	—
Наибольшее расстояние между центрами в мм	—	—	—	10	—	10	100	—	—	—	—
Наибольшая масса измеряемых изделий в кг	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Габаритные размеры микроскопа в мм, не более:											
длина	580	840	950	1150	825	1150	2000	920	195	440	770
ширина	450	800	950	1050	1050	1150	2000	880	225	280	670
высота	510	870	1000	700	615	1150	1600	670	320	315	1300
Масса микроскопа в кг, не более	27	75	210	540	225	600	1800	220	6	12	250

Примечание. В скобках указано наибольшее расстояние между центрами при диаметрах изделий до 39 мм.

Пределы допускаемой погрешности при измерении

Наименование		Измерительные	
		ММИ	БМИ
Пределы допускаемой погрешности измерения	Измерение проекционным		
	Длин в продольном направлении в мкм	$\pm \left(5 + \frac{L}{20} + \frac{HL}{1500} \right)$	$\pm \left(5 + \frac{L}{28} + \frac{HL}{3000} \right)$
	Длин в поперечном направлении в мкм	$\pm \left(4 + \frac{L}{16} + \frac{HL}{330} \right)$	$\pm \left(5 + \frac{L}{14} + \frac{HL}{1000} \right)$
	Диаметров гладких цилиндров в мкм	$\pm \left(7 + \frac{L}{7} \right)$	$\pm \left(8 + \frac{L}{9} \right)$
	Среднего диаметра резьбы в мкм	$\pm \left(5 + \frac{2}{\cos \frac{\alpha}{2}} + \frac{L}{3} \right)$	$\pm \left(5 + \frac{3}{\sin \frac{\alpha}{2}} + \frac{L}{4} \right)$
	Шага резьбы в мкм	$\pm \left(3 + \frac{2}{\cos \frac{\alpha}{2}} + \frac{L}{11} \right)$	$\pm \left(2 + \frac{3}{\cos \frac{\alpha}{2}} + \frac{L}{14} \right)$
	Угла профиля резьбы в мин	$\pm \left(2 + \frac{1,7}{S} \right)$	$\pm \left(2 + \frac{1,7}{S} \right)$
	Измерение методом осевого		
	Диаметров гладких цилиндров в мкм	—	—
	Среднего диаметра резьбы в мкм	—	—
	Шага резьбы в мкм	—	—
	Угла профиля резьбы в мкм	—	—
Примечание. L — измеряемая длина в мм; H — высота изделия резьбы в мм.			

ТАБЛИЦА 4.24

на микроскопах (по ГОСТ 14968—69 и [7])

микроскопы			
УИМ-21 (УИМ-200)	УИМ-22	УИМ-23 (УИМ-200Э)	УИМ-24 (УИМ-500Э)
(теневым) методом			
$\pm \left(3 + \frac{L}{30} + \frac{HL}{4000} \right)$	± 10	—	—
$\pm \left(3 + \frac{L}{50} + \frac{HL}{2500} \right)$	± 10	—	—
$\pm \left(6 + \frac{L}{70} \right)$	± 10	$\pm \left(4 + \frac{L}{70} \right)$	$\pm \left(4 + \frac{L}{70} \right)$
$\pm \left(4 + \frac{2}{\sin \frac{\alpha}{2}} + \right.$ $\left. + \frac{L}{70} \right)$	$\pm \left(6 + \frac{2}{\sin \frac{\alpha}{2}} + \frac{L}{50} \right)$	$\pm \left(3 + \frac{2}{\sin \frac{\alpha}{2}} + \right.$ $\left. + \frac{L}{100} \right)$	$\pm \left(3 + \frac{2}{\sin \frac{\alpha}{2}} + \frac{L}{100} \right)$
$\pm \left(1 + \frac{2}{\cos \frac{\alpha}{2}} + \frac{L}{30} \right)$	$\pm \left(2 + \frac{2}{\cos \frac{\alpha}{2}} + \frac{L}{20} \right)$	$\pm \left(1 + \frac{2}{\cos \frac{\alpha}{2}} + \frac{L}{30} \right)$	$\pm \left(1 + \frac{2}{\cos \frac{\alpha}{2}} + \frac{L}{30} \right)$
$\pm \left(3,5 + \frac{7}{S} \right)$	—	$\pm \left(3,5 + \frac{7}{S} \right)$	$\pm \left(3,5 + \frac{7}{S} \right)$
сечения (с помощью ножей)			
$\pm \left(2,7 + \frac{L}{70} \right)$	—	$\pm \left(2,7 + \frac{L}{70} \right)$	$\pm \left(2,7 + \frac{L}{70} \right)$
$\pm \left(1 + \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + \right.$ $\left. + \frac{L}{150} \right)$	—	$\pm \left(1 + \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + \right.$ $\left. + \frac{L}{150} \right)$	$\pm \left(1 + \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + \right.$ $\left. + \frac{L}{150} \right)$
$\pm \left(1 + \frac{1}{\cos \frac{\alpha}{2}} + \right.$ $\left. + \frac{L}{170} \right)$	—	$\pm \left(1 + \frac{1}{\cos \frac{\alpha}{2}} + \right.$ $\left. + \frac{L}{170} \right)$	$\pm \left(1 + \frac{1}{\cos \frac{\alpha}{2}} + \right.$ $\left. + \frac{L}{170} \right)$
$\pm \left(2,5 + \frac{7}{S} \right)$	—	$\pm \left(2,5 + \frac{7}{S} \right)$	$\pm \left(2,5 + \frac{7}{S} \right)$
над стеклом стола в мм; α — угол профиля резьбы в градусах; S — шаг			

Технические характеристики некоторых

Модель	Фирма, страна	Число координат
Conquest	«Ferranti» (Англия)	2; 3
Cordax 3000	»	2; 3
Alpha 3	DEA (Италия)	3
Beta 3	То же	3
Gamma 3	»	3
Delta, 3, модель А	»	3
Delta, 3, модель В	»	3
Инструментальный микроскоп Digital 100/50	«Opton» (ФРГ)	2
— Инструментальный микроскоп UWM Digital	«Leitz» (ФРГ)	2

К универсальным микроскопам могут быть отнесены также координатно-измерительные приборы (машины), позволяющие производить измерения в двух или трех направлениях. Приборы имеют различные отсчетные системы: оптические, индуктивные, фотоэлектрические и др.; широко применяется цифровая индикация.

Техническая характеристика некоторых приборов приведена в табл. 4.25.

Некоторые фирмы выпускают упрощенные измерительные устройства типа координатной стойки. Такое устройство фирмы «Stiefelmayer» (ФРГ) имеет диапазон измерения по двум координатам от 800×800 до 1800×1000 мм, по третьей (вдоль кромки опорной плиты) — до 5000 мм. Цена деления отсчетных устройств — 0,05 мм.

Проекционные приборы

Проекционные приборы (проекторы) предназначены для контроля и измерения небольших изделий сложной формы как в лабораториях, так и в цеховых условиях. Принцип работы проектора заключается в том, что на экран проектируется увеличенное изображение контура изделия, которое сравнивается с чертежом, выполненным в соответствующем масштабе, либо измеряется с помощью отсчетных устройств прибора.

В соответствии с ГОСТ 19795—74 проекторы измерительные должны изготавливаться четырех типов с характеристиками, указанными в табл. 4.26. Проекторам типов ПИ-1, ПИ-2, ПИ-3 и ПИ-4 примерно соответствуют проекторы ПМГ-1, 4П-2, БП и БП-3, выпускаемые в настоящее время отечественной промышленностью.

Проектор ПМГ-1 (рис. 4.53) представляет собой прибор настольного типа. Проектор состоит из экрана 1 с козырьком 2, корпуса 3,

ТАБЛИЦА 4.25

приборов с цифровым отсчетом

Пределы измерения ($x \times y \times z$) в мм	Дискретность отсчета в мм	Погрешность в мм
$609 \times 381 \times 203$	0,002	$\pm 0,010$
$762 \times 508 \times 203 \div 609$	0,0025	$\pm 0,0076$
От $4000 \times 2500 \times 1500$ до $7000 \times 2500 \times 2000$	0,01	$\pm 0,05$
От $1000 \times 800 \times 500$ до $2800 \times 1600 \times 1000$	0,05	$\pm 0,04$
$1000 \times 800 \times 500$	0,005	$\pm 0,015$
$3000 \times 1800 \times 1000$	0,01	$\pm 0,3$
$4700 \times 2400 \times 2000$	0,01	$\pm 0,5$
100×50	0,002	—
150×75	0,0005	—

измерительного стола 4 и микрометрических винтов 5 и 6 для измерения перемещений стола в продольном и поперечном направлениях. Измерения могут проводиться в проходящем и отраженном свете.

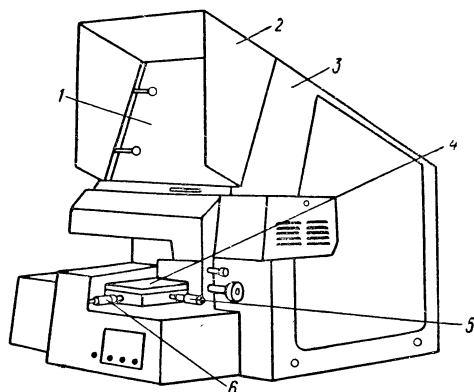


Рис. 4.53

Часовые проекторы ЧП, ЧП-1 (рис. 4.54) и ЧП-2. Приборы предназначены для контроля и измерения деталей часовых механизмов, а также мелких режущих инструментов в проходящем и отраженном свете.

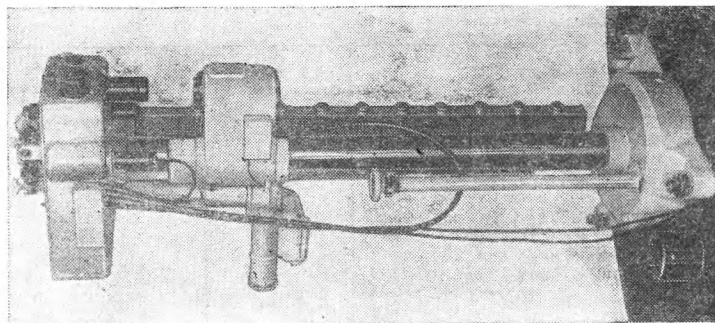


Рис. 4.56

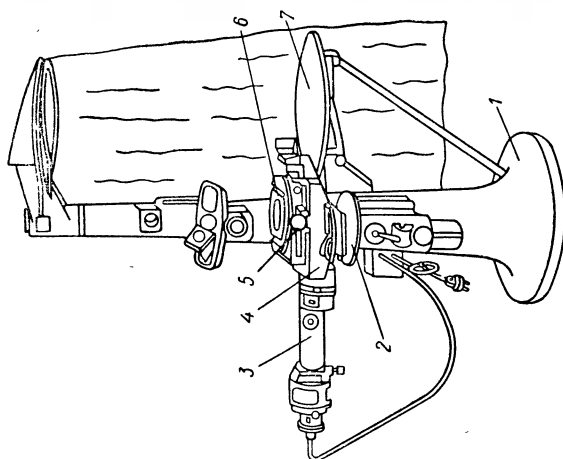


Рис. 4.55

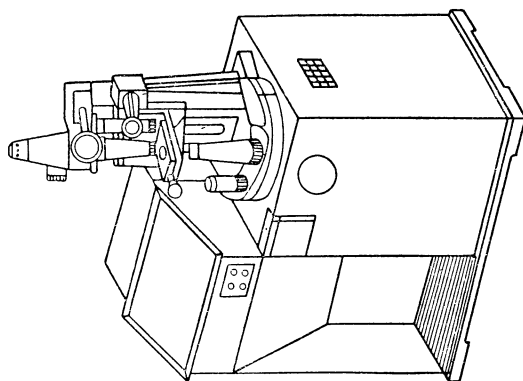


Рис. 4.54

Измеряемые изделия устанавливаются на стекло измерительного стола, который можно перемещать в продольном, поперечном и вертикальном направлениях; предметное стекло с изделием может быть, кроме того, повернуто вокруг вертикальной оси. Измерения перемещений осуществляются по шкалам микрометрических винтов и нониусам.

Большой проектор БП. Прибор (рис. 4.55) состоит из стойки 1, штурвала 2 для перемещения в вертикальном направлении измерительного стола 4, включающего продольную и поперечную каретки, круглый поворотный стол 6 и отсчетные устройства (шкалы микрометрических винтов 5 для измерения перемещений кареток, круговую шкалу и нониус для определения угла поворота стола), осветителя 3, оптической системы (сменных объективов, призмы и зеркала) и экрана 7. Работа на проекторе может осуществляться в проходящем свете (снизу и сбоку) и в отраженном.

В проекторе БП-3 вместо микрометрических винтов имеются оптические отсчетные устройства измерительного стола.

К проекторам выпускаются следующие приспособления: эпiscoпическое приспособление для работы в отраженном свете с увеличением 50, 100 и 200 \times ; насадка двойного изображения для измерения расстояний между центрами отверстий; центровая бабка и блок с призмами и патрончиком для закрепления деталей; стеклянные масштабные линейки для измерения изображений изделий; угломер; образцовая шкала; приспособления для проверки расстояния между осями зубчатых колес, для контроля профиля зубчатых колес, для фотографирования.

Проверка проекторов производится в соответствии с ГОСТ 13352—67. Техническая характеристика проекторов дана в табл. 4.26. Проекторы различных типов и конструкций выпускаются многими иностранными фирмами: «Rank Taylor Hobson» (Англия), «Leitz» (ФРГ), SLP и «Hauuser» (Швейцария) и др. [10].

Катетометры

Эти приборы применяются для измерения линейных отрезков изделий, недоступных для непосредственного измерения. Катетометр (рис. 4.56) состоит из визирной трубы, перемещающейся по вертикальному штативу, устройства для установки трубы в горизонтальное положение, шкалы и отсчетного устройства (микроскоп, нониус и лупа). При измерении визирная труба последовательно наводится на начало и конец измеряемого отрезка. Перемещение трубы, определяемое по шкале, равно длине измеряемого отрезка.

Техническая характеристика катетометров отечественного производства (ЛОМО) и некоторых иностранных фирм дана в табл. 4.27.

По ГОСТ 19719—74 катетометры должны изготовляться двух типов: В — вертикальный для измерения вертикальных координат; У — универсальный с приспособлением для измерения горизонтальных координат.

Интерференционные методы и приборы

Интерференция света позволяет измерять линейные величины с наивысшей точностью. Интерференционные методы и приборы применяются для измерения длин, непрямолинейности и шероховатости поверхностей (см. главы десятую и двенадцатую), а с появлением оптических квантовых генераторов также больших перемещений и расстояний.

Техническая характеристика проекторов
(по ГОСТ 19795—74)

ТАБЛИЦА 4.26

Основные показатели	Типы проекторов			
	ПИ-1	ПИ-2	ПИ-3	ПИ-4
Размеры экрана в мм, не менее	240×300	340×430	∅ 600	600×670
Размеры поля зрения в мм, не менее, при увеличении:				
10×	—	37×48	∅ 60	60×70
20×	12,5×15	18,5×24	∅ 30	30×35
50×	5×6	7,4×9,6	∅ 12	12×14
100×	2,5×3	3,7×4,8	—	6×7
200×	—	1,85×2,4	—	3×3,5
Диапазон перемещения измерительного стола в мм, не менее:				
в продольном направлении	0—25	0—40	0—150	0—100
в поперечном направлении	0—25	0—25	0—50	0—50
в вертикальном направлении	0—30	0—85	0—100	0—90
Цена деления шкал: устройств для отсчета перемещений стола в мм	0,01	0,001	0,005	0,002
угловых измерений в мин	—	5	3	2
Пределы допускаемой погрешности при измерении:				
длин с помощью отсчетных устройств стола в ± мм, не более	0,005	0,003	0,003	0,005
углов в ± мин, не более	—	5	3	3
Наибольший диаметр изделия в мм, устанавливаемого:				
в центрах	—	60	150	100
в призматических опорах	—	15	130	140
Наибольшее расстояние между центрами в мм, не менее	—	150	330	235 (315)
Габаритные размеры в мм, не более:				
длина	910	1290	1000	1800
ширина	680	1055	1500	900
высота	700	1825	2100	2100
Масса проектора в кг, не более	80	490	368	1100
Примечание. Для проектора ПИ-4 в скобках указано наибольшее расстояние между центрами при диаметрах изделий до 39 мм.				

ТАБЛИЦА 4.27

Техническая характеристика катетометров [4]

Изготовитель и шифр прибора	Диапазон измерения в мм	Диапазон фокусировки в мм	Лена наимень- шего деления шкалы в мм	Увеличение зрительной тру- бы в крат	Погрешность отсчетного устройства в мм	Пределы допускаемой погрешности в мм (\pm)	Габаритные размеры в мм	Масса в кг
Однокоординатные катетометры								
ЛОМО (СССР), КМ-6	0—200	140—969; 1000— ∞	0,01	15,2	$\pm 1,5$	0,006—0,021	770×370×320	22
» КМ-8	0—500	470—2000; 2000— ∞	0,01	15,2	± 2	0,015—0,030	250×250×1700	43
» КМ-9	0—1000	470—2000; 2000— ∞	0,01	17,2	± 2	0,030—0,050	560×640×1650	150
«Wild» (Швейцария)	0—800	330— ∞	0,1	20	10	—	—	26
«Ascania» (ФРГ)	0—120 0—1000	800— ∞ 800— ∞	0,01 0,01	20,7 20,7	5 10	— —	— —	— —
ПТИ (Англия)	0—100 0—1000	400— ∞ 400— ∞	0,05 0,05	— —	20 50	— —	— —	— —
«Gartner» (США)	0—100 0—1000	1200— ∞ 320— ∞	0,025 0,05	— —	2,5 50	— —	— —	— —

Продолжение табл. 4. 27

Изготовитель и шифр прибора	Диапазон измерения в мм	Диапазон фокусировки в мм	Лена наимень- шего деления в мм	Увеличение зрительной тру- бы в крат	Порядок отсчетного устройства в мм	Пределы допускаемой погрешности в мм (\pm)	Габаритные размеры в мм	Масса в кг
Двухкоординатные катетометры								
ЛОМО (СССР), КМ-7	300×300	100—2100; 2100— ∞	0,01	26	± 2	0,25—0,045	390×895×1200	59
«Ascapia» (ФРГ)	140×140	800— ∞	0,01	20,7	10	—	—	—
«Criffin» (Англия)	500×500 1000×1000	760— ∞ 760— ∞	0,01 0,02	—	10 20	—	—	—
«Gartner» (США)	100×150 455×455	127— ∞ 228— ∞	0,025 0,025	—	2,5 2,5	—	—	—
«Шимедзу» (Япония)	200×160 500×500 1000×1000	228— ∞ 760— ∞ 760— ∞	0,01 0,01 0,05	5,5 —	10 50 50	—	—	—
Трехкоординатные катетометры								
ЛОМО (СССР), КМ-9 (модернизированный)	0—1000	470—2000; 2000— ∞	0,01	17,2	± 2	0,025—0,045	560×640×1650	170
«Carl Zeiss» (ГДР)	350×50×200	160—20 000	0,001	73—18	1	—	—	—

Измерения образцовых концевых и штриховых мер длины высшей точности производятся на бесконтактных интерференционных приборах и компараторах. В производственных условиях измерения плоскопараллельных концевых мер длины 3—4-го разрядов производятся техническим интерференционным методом и на контактных интерферометрах завода «Калибр» конструкции И. Т. Уверского.

Сущность технического интерференционного метода заключается в определении разности размеров поверяемой и образцовой мер с помощью двух плоских стеклянных пластин. Разность размеров мер не должна превышать 1,5 мкм.

Контактные интерферометры согласно ГОСТ 8290—57 разделяются на вертикальные (ИКПВ, рис. 4.57) и горизонтальные (ИКПГ, рис. 4.58). При перемещении измерительного стержня трубки интерферометра и связанного с ним зеркала изменяется разность хода лучей, в результате чего интерференционные полосы перемещаются по шкале прибора. Указателем является черная (ахроматическая) полоса. Регулировка переменной цены деления шкалы в пределах 0,05—0,2 мкм достигается изменением ширины и положе-

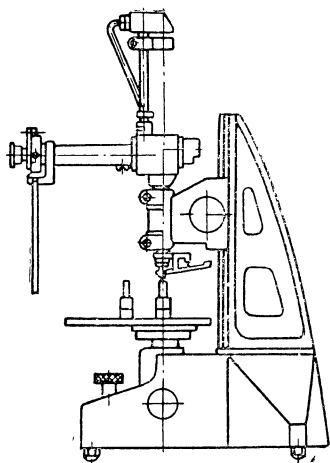


Рис. 4.57

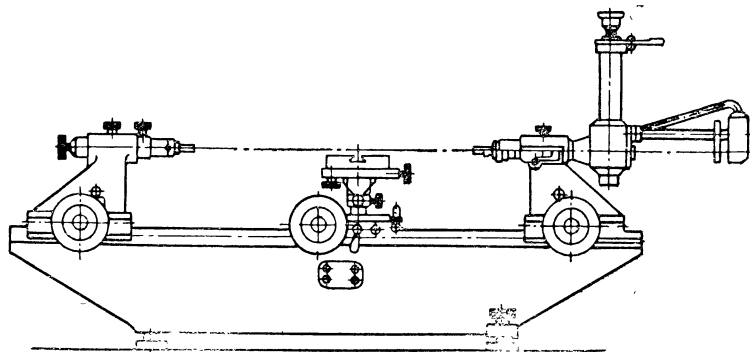


Рис. 4.58

ния интерференционных полос. Техническая характеристика приборов дана в табл. 4.28. Поверка контактных интерферометров производится по Инструкции 102—58 КСМИП.

Лазерные интерферометры применяются для измерения перемещений рабочих органов станков и измерительных машин. Такие при-

ТАБЛИЦА 4.28

Техническая характеристика контактных интерферометров
(по ГОСТ 8290—57 и материалам завода «Калибр»)

Основные показатели	Интерферометры	
	ИКПВ (ПИУ-2)	ИКПГ (ПИУ-3)
Цена деления шкалы в мкм	От 0,05 до 0,2	
Рекомендуемая цена деления шкалы в мкм	0,1	0,1
Число делений шкалы	± 50	± 50
Наибольшая длина измеряемых изделий в мм	150	500
Наибольший диаметр измеряемых изделий в мм	—	250
Перемещение измерительного стержня в мм, не менее	0,5	0,5
Пределы допускаемой погрешности показаний в мкм	$\delta = \pm \left(0,03 + 1,5ni \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \right)$	
Вариация показаний в мкм	0,02	0,02
Вариация показаний с учетом погрешности от перемещения стола в мкм	—	0,05
Измерительное усилие в сН	150 ± 10	200 ± 10
Габаритные размеры в мм	$230 \times 50 \times 700$	—
Масса в кг	45	—
<p>Примечание. n — число делений шкалы от нулевого штриха; i — цена деления шкалы в мкм; λ — длина волны света в мкм; $\Delta\lambda$ — погрешность измерения длины волны в мкм (не превышает $\pm 0,002$ мкм).</p>		

боры обычно состоят из газового гелий-неонового лазера, интерферометра, электронной системы, включающей счетчик интерференционных полос, и отражательного зеркала, устанавливаемого, например, на суппорте станка. Счетчик подсчитывает число интерференционных полос, характеризующих длину перемещения суппорта, и определяет направление перемещения. Техническая характеристика некоторых лазерных интерферометров приведена в табл. 4.29.

Сферометры (ГОСТ 11194—65)

Сферометры предназначены для определения радиусов кривизны выпуклых и вогнутых сферических поверхностей. Значения радиуса кривизны определяют по результатам измерения стрелы прогиба шарового сегмента.

ЛОМО выпускает оптические сферометры ИЗС-7, ИЗС-8 (типы ССО и СНО) и индикаторный сферометр ИЗС-9 (тип СНМ). Сферометр ИЗС-7 предназначен для измерения радиусов кривизны небольших

ТАБЛИЦА 4.29

**Техническая характеристика
некоторых лазерных интерферометров [6]**

Основные показатели	Интерферометры фирм			
	«Huilett Packard» (США)	«Katler Hammer» (США)	«Rank Taylor Hobson» (Англия)	«Johanson» (Швеция)
Диапазон измерений в м	0—60	0—45	0—5	0—5
Цена деления в мкм	0,01 и 0,1	0,1 и 0,2	1	0,05 и 0,2
Погрешность измерения	0,5 мкм на 1 м	$\pm (1 \text{ отсчет} + 0,5 \times 10^{-6} L)$ $\pm (1 \text{ отсчет} + 1 \times 10^{-6} L)$	$\pm 1 \text{ мкм на } 5 \text{ м}$	$\pm (0,00008 + 0,5 \cdot 10^{-6} L)$ $\pm (0,0003 + 0,5 \cdot 10^{-6} L)$
Максимальная скорость перемещения отражателя в м/мин	18	10	18	1,2 и 4,8

деталей, а сферометры ИЗС-8 и ИЗС-9 — больших деталей. Техническая характеристика сферометров дана в табл. 4.30. Поверка сферометров производится по Инструкции 155—63 КСМИП.

ТАБЛИЦА 4.30

**Техническая характеристика сферометров
(по ГОСТ 11194—65 и [9])**

Основные показатели	ИЗС-7	ИЗС-8	ИЗС-9	«Carl Zeiss»	«Ascania»
Диапазон измерения радиусов в мм	10—1000	80—40 000	80—40 000	250—40 000	80—40 000
Диапазон показаний по шкале в мм	± 15	± 15	0—1	0—1	0—0,2
Цена деления отсчетного устройства в мм	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Относительная погрешность прибора в %	$\pm 0,04—0,07$	$\pm 0,04—0,5$	$\pm 0,1—1,5$	—	До ± 2
Габариты в мм	210× × 240× × 380	320× × 320× × 290	320× × 320× × 180	—	—
Масса в кг	9,5	2,4	1	—	—

Лупы измерительные (ГОСТ 8309—57)

Измерительные лупы типа ЛИ имеют шкалу, что позволяет производить измерения на поверхности детали (например, расстояния между рисками и т. п.). Техническая характеристика луп дана в табл. 4.31.

ТАБЛИЦА 4.31

Техническая характеристика измерительных луп
(по ГОСТ 8309—57)

Основные показатели	ЛИ-3	ЛИ-4
Увеличение	10×	10×
Поле зрения линейное в мм	16	17
Расстояние детали от поверхности линзы в мм	21,5	17,5
Цена деления шкалы в мм	0,1	0,1
Диапазон измерения в мм	15	15
Погрешность измерения в мм	0,01	0,02
Габаритные размеры (высота × диаметр)	30 × 32	60 × 43
Масса в г	30	125

8. ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Пневматические приборы применяются для контроля и измерения методом сравнения размеров, отклонений формы и расположения поверхностей изделий. Они обеспечивают высокую точность и производительность контроля и позволяют осуществлять бесконтактные и контактные измерения. Приборы разделяются на манометрические и ротаметрические или поплавковые.

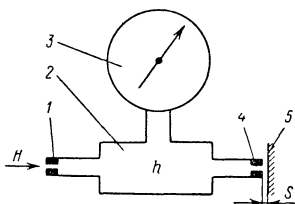


Рис. 4.59

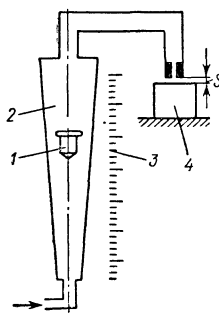


Рис. 4.60

В манометрических приборах (рис. 4.59) через входное отверстие (сопло) 1 в пневматическую камеру 2 поступает воздух постоянного давления H . Изменение зазора S между выходным соплом 4 и поверхностью измеряемого изделия 5 вызывает изменение расхода воздуха.

Соответственно изменяется рабочее давление h воздуха в камере 2, измеряемое манометром 3, градуированным в единицах длины. В качестве чувствительного элемента в манометрах используются жидкость, трубка Бурдона, мембрана или сильфон.

В ротаметрических приборах (рис. 4.60) изменение расхода воздуха приводит к изменению положения поплавка 1 в конической стеклянной трубке 2, через которую проходит воздух постоянного давления. Высота подъема поплавка, определяемая по шкале 3, расположенной рядом с трубкой, характеризует значение зазора S , а следовательно, и размера измеряемого изделия 4.

В качестве источника воздуха используются заводская пневматическая сеть, компрессор или баллон со сжатым воздухом. Постоянство давления воздуха обеспечивается специальным стабилизатором давления (жидкостным или механическим), а очистка воздуха от посторонних примесей и влаги производится фильтром. Стабилизатор давления и фильтр встраиваются непосредственно в пневматический прибор или поставляются независимо от прибора.

Завод «Калибр» изготавливает механические стабилизаторы давления по ГОСТ 14682—69, фильтры — по ГОСТ 14266—69, блоки фильтров со стабилизаторами — по ГОСТ 14683—69, пневматические приборы (длиномеры) низкого давления — по ГОСТ 11198—65¹ и высокого давления (ротаметры) по ГОСТ 14866—69.

Длиномер низкого давления состоит из водяного стабилизатора давления, фильтра и водяного манометра с двумя трубками и двумя шкалами. Отдельно к длиномеру выпускаются показывающие устройства (рис. 4.61). К одному длиномеру можно присоединить до трех показывающих устройств, что дает возможность одновременно измерять до пяти размеров. Ротаметры выпускаются с одно й или несколькими трубками. Стабилизатор

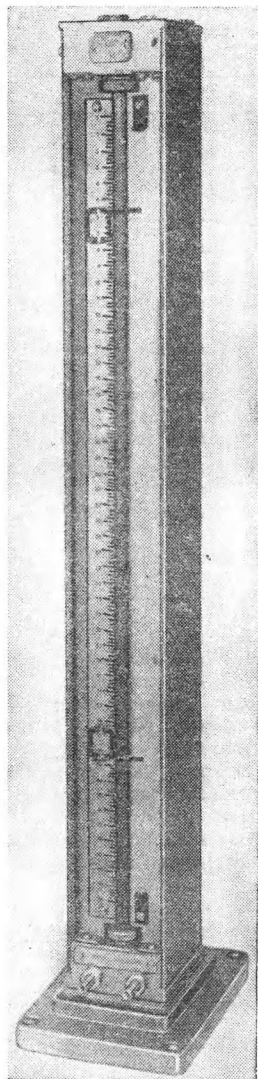


Рис. 4.61

¹ Взамен ГОСТ 11198—65 разрабатывается новый стандарт.

ТАБЛИЦА 4.32

**Техническая характеристика пневматических длиномеров
низкого давления**

(по ГОСТ 11198—65)

Основные показатели	Оснащение длиномера						
	измерительным соплом				калибром-пробкой		
Цена деления шкалы в мкм	0,5	1	2	5	1	2	5
Диапазон измерений в мкм	0,02	0,04	0,08	0,20	0,02	0,04	0,08
Предел допускаемой погрешности в мкм	0,5	1	2	3	1	2	3
Вариации показаний в цене деления	$1/2$				$1/3$		
Время успокоения в с, не более	3,5				3,5		
Длина шкалы в мм	500				500		
Давление воздуха в сети в кПа	2—6				2—6		
Рабочее давление воздуха в кПа	$0,05 \pm 0,0005$				$0,05 \pm 0,0005$		
Количество манометрических трубок, не менее	2				2		

давления (механический) и фильтр в прибор не встраиваются. Необходимая цена деления и диапазон измерения длиномера низкого давления могут быть получены соответствующим подбором диаметров сопел, а ротаметра, кроме того, изменением давления воздуха, конусности трубки и массы поплавка. Шкалы приборов градуируются по конечным мерам или аттестованным кольцам.

Техническая характеристика длиномеров завода «Калибр» приведена в табл. 4.32 и 4.33.

Различными организациями разработаны разные типы и конструкции пневматических приборов низкого и высокого давления: с ценой деления от 0,1 мкм, с широким диапазоном измерения, разным числом трубок, разными отсчетными устройствами, в том числе с пневмооптическим (БВ 6046) и др. Различные пневматические приборы выпускаются также многими иностранными фирмами.

Для измерения различных параметров изделий к пневматическим приборам выпускается специальная измерительная оснастка. Отверстия с диаметрами менее 3 мм контролируют, пропуская воздух непосредственно через них, а с диаметрами от 3 до 160 мм — с помощью пневматических калибров-пробок (ГОСТ 14864—69).

Пробки типа I (рис. 4.62) предназначены для измерения диаметров от 3 до 6 мм, типа II — для диаметров св. 6 до 16 мм, типа III (со вставными соплами) — для диаметров св. 16 до 160 мм. Каждая пробка состоит из вставки 1 и ручки 2 с присоединительным концом 3; пробки типа I имеют, кроме того, переходную втулку 4. Измерительные сопла

ТАБЛИЦА 4.33

Техническая характеристика пневматических длиномеров
высокого давления (ретаметров)

(по ГОСТ 14864—69, ГОСТ 14866—69 и ГОСТ 13009—67)

Основные показатели	Конусность трубки					
	1/1000			1/400		
	Поплавков					
	легкий	тяжелый		лег- кий	тяже- лый	
Цена деления в мкм	0,5	1	1	2	2	5
Диаметр измерительного сопла в мм	1	0,7	1	0,7	1	1
Диапазон измерений в мм	0,020	0,035	0,035	0,0600	0,060	0,100
Пределы допускаемой погрешности показаний в мкм при работе:						
с измерительным соплом	0,5	0,8	0,8	1,5	1,5	2,5
с калибром-пробкой	0,8	1,2	1,2	2,0	2,0	4,0
Вариация показаний в цене деления	$\frac{2}{5}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{6}$
Время успокоения в с, не более		3			1,5	
Среднее передаточное отношение	12 000	1	6900		4000	2300
Пределы допускаемой погрешности среднего передаточного отношения в % (\pm)		12			12	
Нелинейность характеристики в %, не более		3			3	
Давление воздуха в сети, в кПА		3,2—6,0			3,2—6,0	
Рабочее давление воздуха в кПА		1,5 \pm 0,5			1,5 \pm 0,5	
Количество трубок		1; 2; 3; 5; 10				

должны быть занижены относительно наружного диаметра пробки (рис. 4.63). Исполнительные размеры пробок приведены в табл. 4.34.

Для измерения диаметров отверстий завод «Калибр» выпускает также пневматические нутромеры типа НП с диапазонами измерения 75—100, 100—125 и 125—175 мм. Нутромеры оснащены центрирующим мостиком, обеспечивающим их самоустановку как в диаметральной, так и в осевой плоскости измеряемого отверстия.

Наружные размеры изделий контролируют с помощью пневматических калибров — колец (рис. 4.64), скоб и пневматических головок бесконтактных и контактных (рис. 4.65), закрепляемых в кронштейне

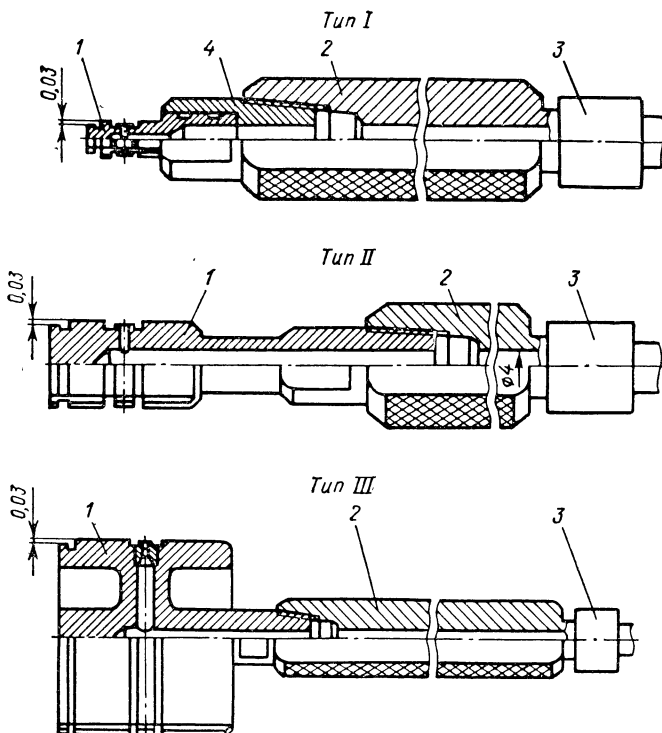


Рис. 4.62

обычного вертикального штатива или стойки со столиком. Контактная головка типа ДПК [2] с коническим клапаном обеспечивает широкий диапазон измерения.

**Техническая характеристика
пневматической головки типа ДПК**

Диапазон измерения	0,7 мм
Ход штока	4 мм
Угол клапана (в зависимости от требуемого передаточного отношения)	10—150°
Измерительное усилие	100 сН
Присоединительный размер	М 50×0,5
Габаритные размеры	7×75 мм
Масса	0,028 кг

Проверка ротаметров осуществляется по ГОСТ 13009—67, а пневматических приборов низкого давления — по ГОСТ 16961—71.

Приборы и преобразователи, основанные на электрических принципах, рассматриваются ниже (см. главу одиннадцатую).

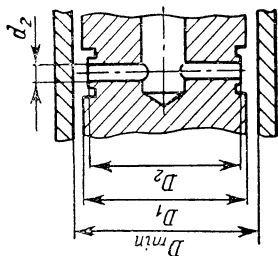


Рис. 4.63

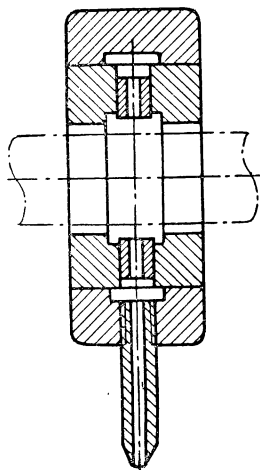


Рис. 4.64

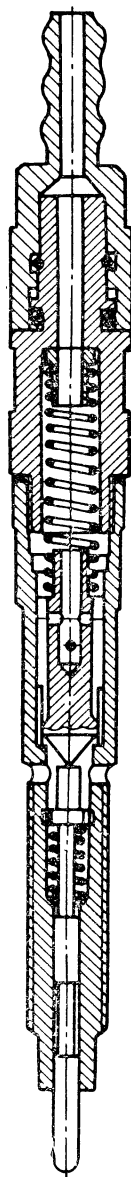


Рис. 4.65

ТАБЛИЦА 4.34

Исполнительные размеры пневматических калибров-пробок
(по ГОСТ 14864—69)

Наименование прибора	Диапазон измерений в мм, не более	Диаметр измерительного сопла d_2 в мм	Диаметр входного сопла d_1 в мм	Цена деления в мм	Конусность трубки ротаметра	Поплавок ротаметра	Занижения по соплам в мм ($D_{\text{min}} - D_2$, см. рис. 4.63)	
							Номинальное значение	Предельные отклонения
Манометрический прибор	0,020	1,5	0,6	0,001	—	—	0,065 **	$\pm 0,002$
		2,0					0,070 **	
	0,040	1,5	0,6	0,002	—	—	0,070 **	
			0,8				0,075	
		2,0	0,7				0,065 **	
			0,8				0,070 **	
	0,080	1,5	1,0	0,005	—	—	0,080	
		2,0	1,0				0,090	
	0,010 *	1,5	0,3	—	—	—	0,040 **	
			0,6				0,070 **	
		2,0	0,3				0,040 **	
			0,6				0,070 **	

Продолжение табл. 4.34.

Наименование прибора	Диапазон измерений в мм, не более	Диаметр измерительного сопла d_2 в мм	Диаметр входного сопла d_1 в мм	Цена деления в мм	Конусность трубки ротаметра	Подплавочный ротаметр	Занижения по соплам в мм ($D_{\min} - D_s$, см. рис. 4.63)	
							Номинальное значение	Предельные отклонения
Ротаметр	0,020	1,0	—	0,0005	1 : 1000	Легкий	0,055	$\pm 0,002$
	0,035	1,0	—	0,001		Тяжелый	0,060	
		0,7	—			Легкий	0,065	
	0,060	1,0	—	0,002	1 : 400	Тяжелый	0,060	
		0,7	—		1 : 1000		0,070	
	0,100	1,0	—	0,005	1 : 400	Легкий	0,085	
	0,010 *	1,5	—	—	1 : 1000		0,045	
	0,007 *	2,0	—	—	Легкий	0,035		
		—	—	—		—		

Примечания:

1. Пробки, отмеченные *, применяются при контроле формы изделий и рассортировке деталей на группы; отмеченные **, должны применяться только при контроле деталей, устанавливаемых в одном и том же положении относительно сопел пробок.

2. Занижения по направляющей части $D_{\min} - D_1$ (см. рис. 4.63) должны быть равны при измерении диаметров от 3 до 6 мм — $0,005 \pm 0,002$ мм; св. 6 до 60 мм — $0,010 \pm 0,002$ мм и св. 60 мм — $0,015 \pm 0,002$ мм.

Примечания:

1. Пробки, отмеченные *, применяются при контроле формы изделий и рассортировке деталей на группы; отмеченные **, должны применяться только при контроле деталей, устанавливаемых в одном и том же положении относительно сопел пробы.
2. Занижения по направляющей части $D_{\min} - D_1$ (см. рис. 4.63) должны быть равны при измерении диаметров от 3 до 6 мм $\pm 0,005 \pm 0,002$ мм; св. 6 до 60 мм $\pm 0,010 \pm 0,002$ мм и св. 60 мм $\pm 0,015 \pm 0,002$ мм.

Список литературы

1. Авдулов А. Н. Координатно-измерительные машины. «Станки и инструмент». 1961, № 5, с. 31—35.
2. Высоцкий А. В., Курочкин А. П., Линд А. Б. и др. Пневматические измерения линейных размеров. М., Машгиз, 1963, 266 с.
3. Данилевич Ф. М. и Никитин В. А. Оптические длиномеры. — «Измерительная техника», 1967, № 10, с. 17—21.
4. Данилевич Ф. М. и Никитин В. А. Катетомеры, Л. «Машиностроение», 1970, 80 с.
5. Коломийцов Ю. В., Духопел И. И., Инюшин А. И. и др. Оптические приборы для измерения линейных и угловых величин в машиностроении. М., «Машиностроение», 1964, 255 с.
6. Коронкевич В. П. Лазерные интерферометры на международной выставке «Мезюкора-70». — «Измерительная техника», 1970, № 12, с. 68—70.
7. Крупп Н. Я. Оптико-механические измерительные приборы. М.—Л., Машгиз, 1962, 276 с.
8. Меклер М. И. Средства измерения для обеспечения качества продукции в зарубежном машиностроении. — «Измерительная техника», 1967, № 10, с. 13—17.
9. Никитин В. А. и Данилевич Ф. М. Новые оптические приборы Ленинградского оптико-механического объединения. — «Измерительная техника», 1967, № 6, с. 25—29.
10. Саркин В. И. Современные оптико-механические измерительные проекторы. М., «Стандартгиз», 1962, 116 с.
11. Справочник контролера машиностроительного завода. Под ред. А. И. Якушева. М., «Машиностроение», 1973, 84 с.
12. Тененбаум Ю. З. Новые рычажно-зубчатые приборы для линейных измерений и методы их регулирования. — В кн.: Средства измерений и контроля линейных величин. Материалы к учебно-производственному семинару. Под ред. Б. М. Сорочкина. ЛДНТП, 1973, 84 с.

ГЛАВА ПЯТАЯ

ИЗМЕРЕНИЕ БОЛЬШИХ ДЛИН И ДИАМЕТРОВ

1. ПРЯМЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ БОЛЬШИХ ДЛИН И ДИАМЕТРОВ

Измерение внутренних диаметров и длин

Прямые измерения больших внутренних диаметров и длин осуществляются нутромерами различных типов и конструкций [4]. Нутромеры без отсчетных устройств (жесткие калибры — штихмасы) применяются в массовом и крупносерийном производстве, а с отсчетными устройствами (микрометрические, индикаторные, с линейной шкалой и нониусом) — в серийном и индивидуальном производстве.

Наибольшее распространение получил сборный микрометрический нутромер (рис. 4.10) Челябинского завода мерительных инструментов (ЧЗМИ) с внутренними измерительными стержнями. Описание и техническая характеристика таких нутромеров приведены в главе четвертой.

На некоторых заводах применяются также микрометрические сборные нутромеры собственного изготовления без внутренних измерительных стержней. При длине до 3000 мм корпус нутромера изготавливают из цилиндрической трубы 1 (рис. 5.1, а). С одного конца трубы привинчивается микрометрическая головка 2, а с другого — удлинитель 3 с жестким измерительным наконечником 4 или только наконечник (рис. 5.1, б).

Для размеров от 1500 до 10 000 мм находят применение сборные «сигарообразные» и телескопические нутромеры. Корпус сигарообразного нутромера (рис. 5.2) состоит из двух усеченных конусов, сваренных из листовой стали толщиной 0,5—0,8 мм. К корпусу привинчиваются микрометрическая головка и удлинитель.

Телескопический нутромер (рис. 5.3) представляет собой цилиндрическую или сигарообразную трубу 1, внутри которой находится выдвижная штанга 2 со шкалой. Грубый отсчет производится по шкале и нониусу 3, а точный — по микрометрической головке 4, расположенной на конце штанги.

Индикаторные нутромеры с верхним пределом измерения до 1000 мм (рис. 4.24) выпускаются заводом КРИН, а от 1250 до 6000 мм (рис. 5.4) — Челябинским инструментальным заводом (индикаторная головка прилагается к микрометрическим нутромерам).

За результат измерения нутромером принимают сумму номинального или действительного размера нутромера и отсчета по шкале микрометрической (индикаторной) головки. Действительный размер определяют, измеряя нутромер на измерительной машине (см. главу четвертую) или на специальном установочном приспособлении.

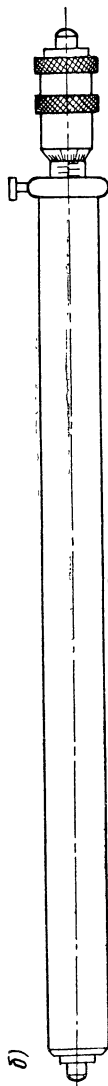
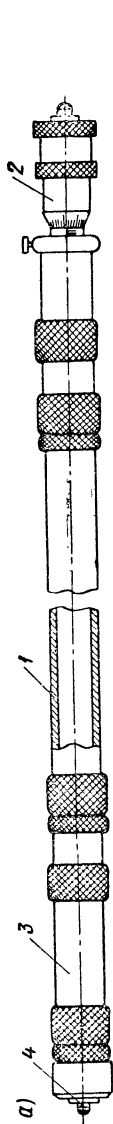


Рис. 5.1

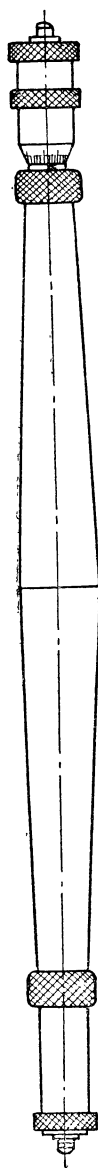


Рис. 5.2

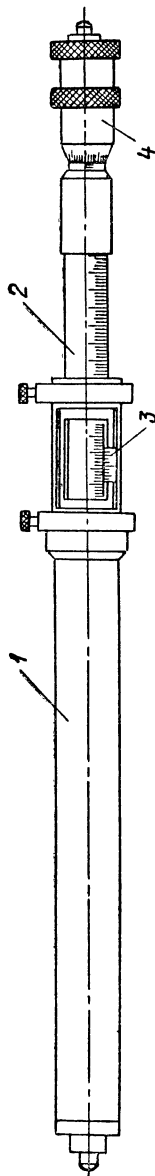


Рис. 5.3

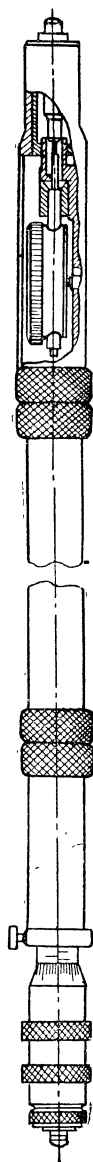


Рис. 5.4

Измерение наружных диаметров и длин

Измерения наружных диаметров и длин производятся микрометрами, скобами (дугowymi и линейными), штангенциркулями, масштабными линейками, рулетками, специальными приборами. Микрометры,

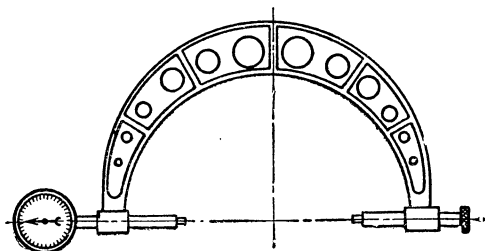


Рис. 5.5

согласно ГОСТ 6507—60, выпускаются для измерения размеров не св. 600 мм, однако на заводах имеются микрометры с верхним пределом измерения до 2000 мм.

Скобы отличаются от микрометров наличием индикаторной головки и жесткой пятки либо индикаторной и микрометрической головок.

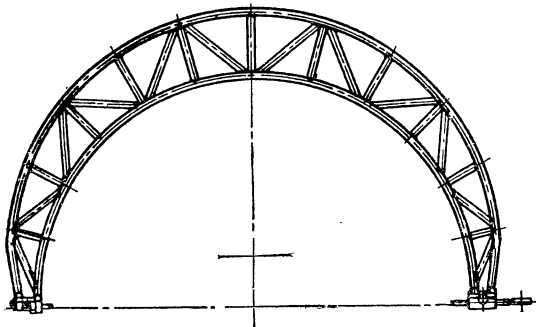


Рис. 5.6

Микрометры и дуговые скобы могут применяться для измерения диаметров в любом сечении вала, а линейные скобы и штангенциркули — только с торца вала.

При размерах до 1000 мм корпус микрометров и дуговых скоб выполняется из листовой стали с отверстиями для уменьшения массы (рис. 5.5). У дуговых скоб с верхним пределом измерения от 1000 до 2000 мм корпус сваривается из стальных или дюралюминиевых труб с наружным диаметром 20—30 мм (рис. 5.6).

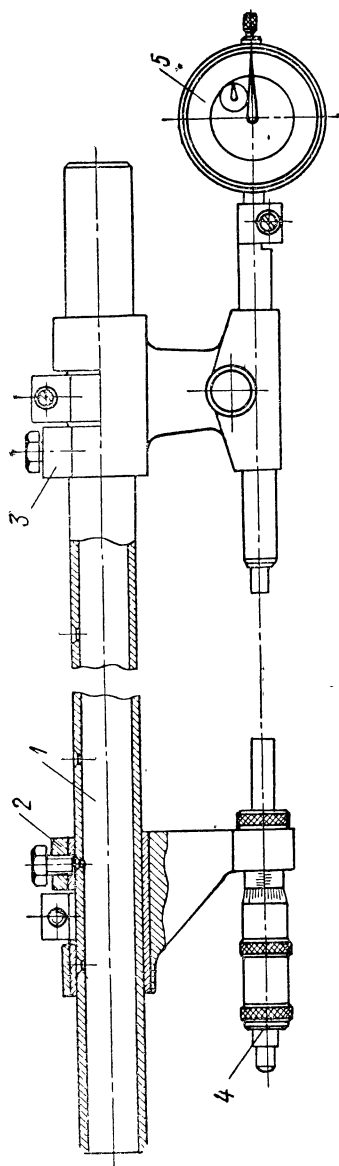


Рис. 5.7

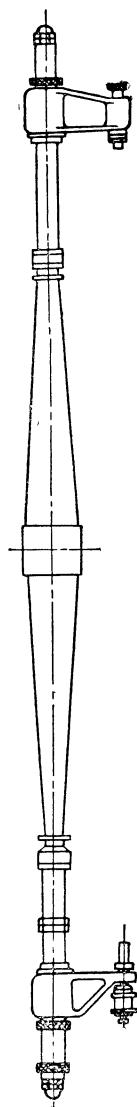


Рис. 5.8

Диапазон измерений микрометров и дуговых скоб — 50—200 мм. Линейные скобы с верхним пределом измерения до 3000 мм (рис. 5.7) состоят из цилиндрической трубы 1 диаметром 25—50 мм и двух кронштейнов 2 и 3 с микрометрической 4 и индикаторной 5 головками. Вместо одной из головок иногда применяют жесткую пятку.

Измерение диаметров от 3000 до 6000 мм производится линейными сигарообразными скобами (рис. 5.8). Кронштейны с измерительными головками перемещаются по отрезкам цилиндрических труб, приваренных к сигарообразному тонкостенному корпусу. Диапазон измерений каждой линейной скобы — 500—1000 мм. На некоторых заводах применяют деревянные дуговые и линейные скобы. Такие скобы имеют

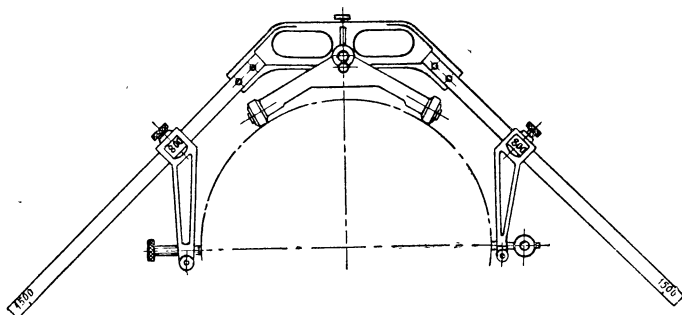


Рис. 5.9

низкую теплопроводность, благодаря чему размер скобы практически не меняется при изменении температуры в процессе измерения. Наилучшие сорта дерева для изготовления скоб — пихта, сосна и клен.

Находят применение также специальные конструкции скоб: двух-трубные, с опорой на измеряемое изделие, с обходом вала и др. [4].

На рис. 5.9 изображен седлообразный индикаторный прибор Ленинградского инструментального завода, предназначенный для измерения отклонений формы длинных валов. Завод выпускает такие приборы с диапазонами измерения 300—800 мм (тип 6ПМ) и 800—1500 мм (тип 5ПМ).

Штангенциркули предназначены для измерений длин и диаметров с размерами до 4000 мм (см. табл. 4.7). Однако для непосредственного измерения длин изделий применяют штангенциркули длиной не более 2000 мм.

Масштабные линейки и рулетки (см. табл. 4.4 и 4.5) используют для измерений длин и расстояний при невысоких требованиях к точности измерений.

Из специальных приборов можно указать на разработанные в ЛИТМО два индикаторных прибора ПКД-1 и ПКД-5 для измерения диаметров валов в процессе обработки на токарных станках.

Прибор ПКД-1 (рис. 5.10) представляет собой пустотелую скобу, подвешиваемую к закрепляемой на суппорте станка каретке. Скоба может быть перемещена в горизонтальном и вертикальном направлениях и повернута вокруг вертикальной оси, что позволяет располагать

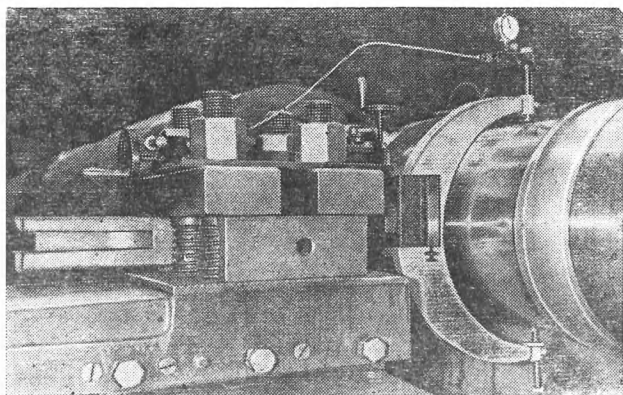


Рис. 5.10

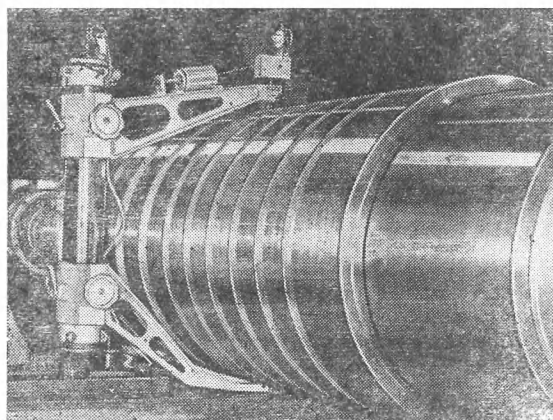


Рис. 5.11

измерительные наконечники прибора в осевой плоскости вала на любом расстоянии от резца. Прибор разработан для измерения диаметров от 250 до 1250 мм. Диапазон измерения каждой скобы — 200 мм. Опытный экземпляр прибора имеет диапазон измерения от 250 до 450 мм.

Прибор ПКД-5 (рис. 5.11) предназначен для измерения диаметров от 550 до 730 мм. Прибор установлен на каретке, прикрепляемой к задней плите суппорта станка против резца. Управление прибором (пере-

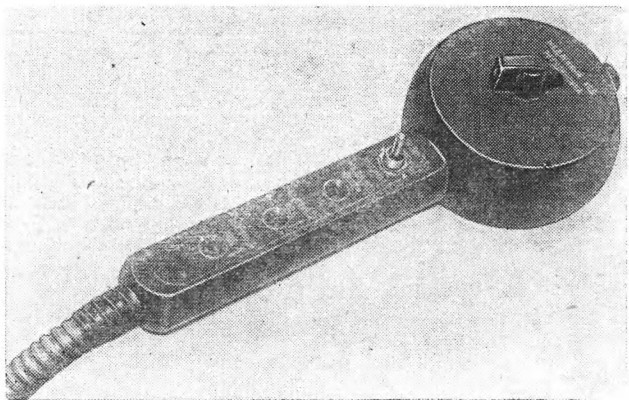


Рис. 5.12

мещения, арретирование) осуществляются дистанционно, нажимом на соответствующие кнопки пульта управления (рис. 5.12). Во избежание износа измерительные наконечники приборов выполнены вращающимися. Приборы могут применяться для измерения валов 2-го класса точности.

Измерения расстояний между отдельными участками (точками) поверхности изделий иногда осуществляются с помощью катетометров (см. главу четвертую), теодолитов, нивелиров и других оптических приборов [4], на специальных измерительных стендах.

2. КОСВЕННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ БОЛЬШИХ ДЛИН И ДИАМЕТРОВ [4]

Измерения от дополнительных измерительных баз

В качестве таких баз используют специальные колонки, упоры, части станка, поверхности измеряемого изделия. Основным достоинством этого способа измерения является возможность применения при внутренних и наружных измерениях нутромера, длина которого значительно меньше диаметра измеряемого изделия. При измерении внутреннего диаметра изделия (рис. 5.13, а) диаметр $D = 2l + d$, а при измерении наружного диаметра (рис. 5.13, б) $D = 2\left(l_0 + \frac{d}{2} - l\right)$,

где l — расстояние от базы (колонки) до поверхности детали, измеряемое нутромером; d — диаметр колонки (оправки); l_0 — расстояние от базы до оправки, измеряемое заранее.

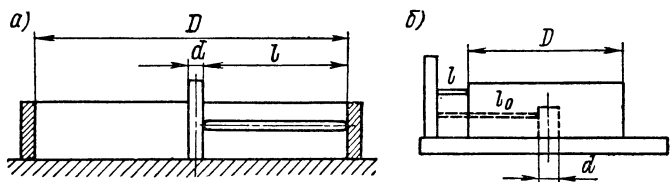


Рис. 5.13

На некоторых заводах (Уралмашзавод и др.) крупные карусельные станки оборудованы постоянными измерительными базами.

Метод опоясывания

Сущность метода заключается в определении наружного диаметра D изделия по результатам измерения длины окружности L рулеткой или специальной металлической лентой ($D = \frac{L}{\pi}$).

На заводах натяжение рулетки осуществляется чаще всего вручную, что не обеспечивает необходимой точности измерения.

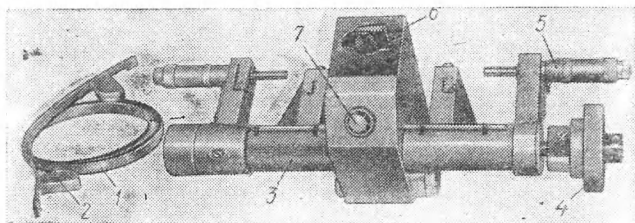


Рис. 5.14

В Ленинградском институте точной механики и оптики разработан прибор ПКД-6 для измерения методом опоясывания диаметров от 1,5 до 6 м [5]. Измерения осуществляются с помощью специальных измерительных лент 1 (рис. 5.14) с шаровыми упорами 2 (срезанными шариками). Каждая лента может быть использована для измерения различных диаметров в диапазоне 15 мм. Прибор состоит из корпуса 3, натяжного устройства 4, обеспечивающего натяжение ленты с постоянным усилием, двух микрометрических головок 5, служащих для измерения расстояния между шариками ленты, постоянного магнита 6, предназначенного для закрепления прибора на измеряемом валу, и электроконтактного сигнального устройства 7, исключаяющего влияние

измерительного усилия микрометрических головок. К прибору разработано устройство ППЛ-3 для аттестации лент на измерительной машине типа ИЗМ.

Прибор может быть применен для измерения валов, начиная с класса точности 2а—3.

Определение диаметра по результатам измерения элементов окружности

Известен ряд приборов седлообразного типа для измерения диаметров по углу между касательными к измеряемой окружности и высоте сегмента, по хорде и высоте сегмента и др. [4]. На рис. 5.15 изображен прибор с измерительной головкой.

Отклонение измеряемого диаметра (ΔD в мкм) от размера, на который установлен прибор, определяется по формуле

$$\Delta D = \frac{2 \sin \frac{\alpha}{2}}{1 - \sin \frac{\alpha}{2}} \Delta h,$$

где α — угол между измерительными плоскостями прибора; Δh — показание измерительной головки в мкм.

Зависимость ΔD от α :

α	$38^\circ 56' 33''$	60°	$91^\circ 10' 1''$	$112^\circ 56'$
ΔD	Δh	$2\Delta h$	$5\Delta h$	$10\Delta h$

Конструкция такого прибора (ПКД-3 и ПКД-9) с диапазонами измерения от 850 до 1200 и от 1300 до 1700 мм разработана в ЛИТМО. Установка прибора на измеряемый размер производится по аттестованной детали или на специальном приспособлении по концевым мерам длины (рис. 5.16).

Прибор для измерения по хорде и высоте сегмента (рис. 5.17), разработанный в ЛИТМО, предназначен для измерения наружных и внутренних диаметров. При измерении внутренних диаметров ползуны с роликами поднимаются до упора вверх, а измерительная головка опускается вниз.

Отклонение измеряемого диаметра (ΔD) от размера, на который установлен прибор, определяется по формуле

$$\Delta D = - \left(\frac{l^2}{h^2} - 1 \right) \Delta h,$$

где l — половина расстояния между осями опорных роликов; h — размер блока концевых мер, по которому производится установка прибора; Δh — отсчет по шкале измерительной головки. Знак минус перед скобкой показывает, что при увеличении высоты сегмента диаметр уменьшается.

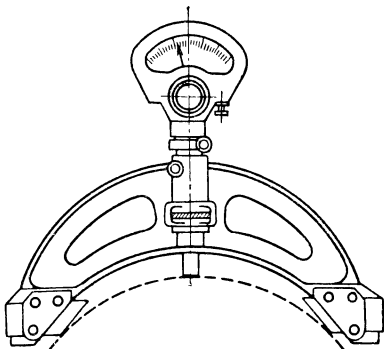


Рис. 5.15

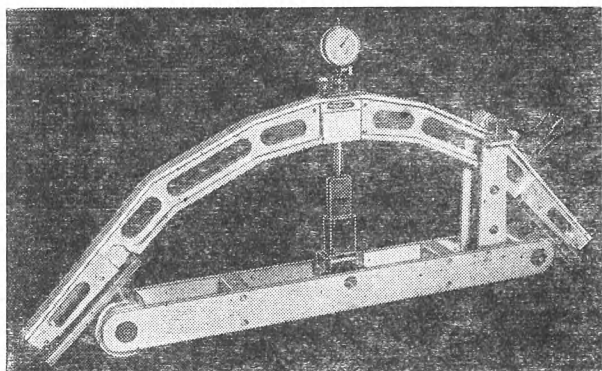


Рис. 5.16

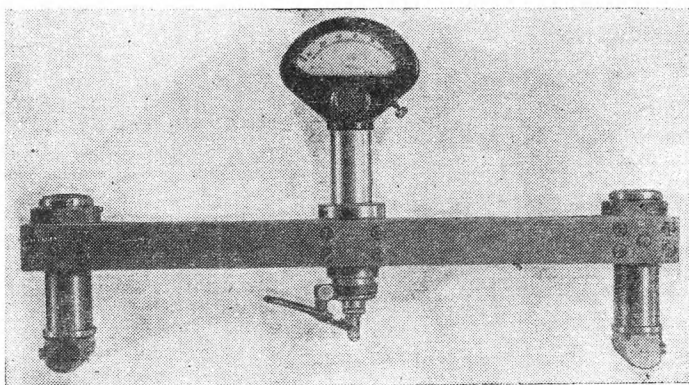


Рис. 5.17

Прибор может быть применен для измерения любых диаметров св. 1000 мм, однако погрешность измерения и цена деления прибора увеличиваются с увеличением размера диаметра.

Постоянство цены деления может быть достигнуто при создании прибора с переменной базой l . Конструкция такого прибора (ПКД-8) с диапазоном измерения от 1000 до 2000 мм разработана в ЛИТМО.

В ЦНИИТмаше разработан прибор [3] для измерения наружных диаметров св. 1000 мм по длине дуги и двум углам.

Приборы с обкатным роликом

Приборы [1, 4, 6] основаны на зависимости угла поворота мерного ролика, прижимаемого к поверхности детали и вращающегося вместе с ней, от диаметра детали.

Измеряемый диаметр $D = \frac{m}{n} d$, где d — диаметр ролика; m и n — числа оборотов ролика и детали.

Разработан ряд приборов с обкатным роликом, отличающихся способом определения угла поворота ролика (числа полных оборотов и части оборота) за один или несколько оборотов детали.

Приборы предназначены для измерения диаметров деталей, обрабатываемых на токарных и карусельных станках.

Прибор АИД-6, разработанный в Красноярском сельскохозяйственном институте, состоит из измерительной головки, обеспечивающей стабильное прижатие ролика к детали, электронного счетно-управляющего устройства на полупроводниках и декатронах и бесконтактного счетчика оборотов детали, устанавливаемого на планшайбе станка. Измерительная головка закрепляется на резцедержателе суппорта станка.

В приборе используется фотоэлектрический преобразователь измерительных импульсов, включающий: стеклянный диск с радиальными штрихами, сидящий на одной оси с обкатным роликом, дополнительную стеклянную шкалу, штрихи которой расположены под небольшим углом к штрихам диска, лампочку и фотодиод, установленные с разных сторон диска, и диафрагму.

При вращении диска образуется растровая картина чередующихся темных и светлых полос, падающих на фотодиод, в результате чего возникают электрические импульсы. Число импульсов за один или за пять оборотов детали, определяемое отсчетным устройством, зависит от диаметра детали. Один импульс соответствует 0,05 и 0,01 мм. Диапазон измеряемых диаметров 100—10 000 мм. Усилие прижима ролика к детали 100 Н. Наибольшая окружная скорость 100 м/мин. Масса прибора 16 кг.

В последней модели прибора (АИД-8) применена цифровая индикация.

В приборах, разработанных в Научно-исследовательском и проектно-технологическом институте машиностроения (Краматорск), использован индуктивный преобразователь. Особенностью приборов является самоориентация ролика относительно поверхности детали. Измерение осуществляется за два оборота детали. Цена импульса 0,01 мм.

Оптические методы измерений

Известные из литературы оптические методы измерения длин и диаметров крупногабаритных изделий основаны на использовании точных теодолитов или на принципе дальномера [4]. К первой группе методов относятся методы цеховой триангуляции, дистанционный,

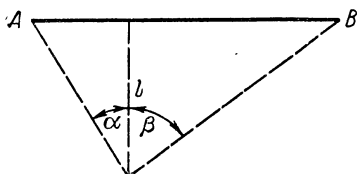


Рис. 5.18

хорды и дуги, а ко второй — методы, разработанные в Государственном оптическом институте, ЛИТМО и ЦНИИТмаше [4].

Из указанных методов иногда применяется, главным образом при крупных монтажных работах, только метод цеховой триангуляции [2]. Сущность этого метода заключается в том, что по результатам измерения углов с помощью точного теодолита и линейного отрезка (базы)

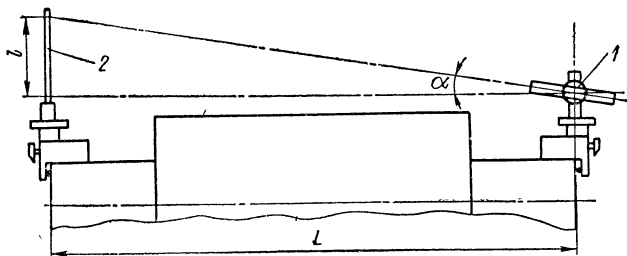


Рис. 5.19

рулеткой или нутромером определяется длина изделия или расстояние между отдельными его участками как одна из сторон треугольника или четырехугольника.

При измерении по схеме (рис. 5.18) длина $AB = l(\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta)$, где l — база. Теодолит 1 (рис. 5.19) и специальная база (рейка) 2 могут быть установлены на измеряемое изделие. В этом случае длина изделия $L = l \operatorname{ctg} \alpha$. Новый способ измерения с помощью специального визирного и базисного устройств разработан в ЛИТМО.

Области применения различных методов и средств измерения больших длин и диаметров указаны в табл. 5.1.

ТАБЛИЦА 5.1

Области применения средств и методов измерения больших длин и диаметров

Средства и методы измерения	Размеры измеряемых изделий в мм													
	св. 500 до 630	св. 630 до 800	св. 800 до 1000	св. 1000 до 1250	св. 1250 до 1600	св. 1600 до 2000	св. 2000 до 2500	св. 2500 до 3150	св. 3150 до 4000	св. 4000 до 5000	св. 5000 до 6300	св. 6300 до 8000	св. 8000 до 10000	
	Наивысший класс точности измеряемых изделий													
Измерения внутренних длин и диаметров														
Нутрометр микрометрический	1	1	1	1	2	2	2	2	2a	2a	3	3	3	
Нутрометр микрометрический с индикаторной головкой	2	2	2	2	2	2	2	2	2a	2a	2a	3	3	
Нутромер телескопический	—	—	—	—	—	2	2	2	2a	2a	3	3	3	
Измерение от дополнительной базы	—	—	—	—	—	—	—	2	2a	2a	2a	2a	3	
Обкатной ролик	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
Рулетка	7	7	7	7	7	7	7	7	7	5	5	5	5	
Измерения наружных длин и диаметров														
Микрометр	2a	2a	2a	2a	3	3	3	3	3	3	3	—	—	
Скоба индикаторная	2a	2a	2a	2a	2a	2a	2a	2a	2a	3	3	—	—	
Штангенциркуль	5	5	5	5	5	5	—	—	—	—	—	—	—	
Метод опоясывания	—	—	—	—	—	3	3	3	3	3	3a	3a	4	
Измерение от дополнительной базы	—	—	—	—	—	—	3	3	3	3	3	3	3	
Измерение по элементам окружности	3	3	3	3	3	3	—	—	—	—	—	—	—	
Обкатной ролик	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
Рулетка	7	7	7	7	7	7	7	7	7	5	5	5	5	
Метод пеховой триангуляции	—	—	—	—	—	—	—	—	4	4	4	5	5	

Список литературы

1. Иванов Б. Н. Измерение линейных размеров методом обкатывания роликом. М., «Машиностроение», 1973, 144 с.
2. Каяк Л. К. О применении геодезических методов для измерения больших длин. — Исследования в области линейных измерений. Труды ВНИИМ, вып. 12 (72). М.—Л., Машгиз, 1951, с. 87—101.
3. Новиков Н. И. Прибор для измерения наружных диаметров крупных деталей. Передовой научно-технический и производственный опыт. Тема 21 № М—59—411/23. М., филиал ВИНТИ, 1959, 26 с.

4. Рубинов А. Д. Измерения больших размеров в машиностроении. Изд. 2-е. М.—Л., Машгиз, 1959, 183 с.

5. Рубинов А. Д. Новый прибор для измерения наружных диаметров крупногабаритных изделий методом опоясывания. — Исследования в области линейных измерений. Труды метрологических институтов СССР, вып. 101 (151). М.—Л., Изд-во стандартов, 1968, с. 140—145.

6. Трутень В. А. и Трутень Ф. А. Некоторые электронные приборы для активного контроля деталей больших диаметров. — В кн.: Взаимозаменяемость и технические измерения в машиностроении, № 5. М., «Машиностроение», 1967, с. 198—209.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

КОНТРОЛЬ И ИЗМЕРЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Контроль и измерение некоторых деталей и узлов сложной формы, в особенности объектов с криволинейными поверхностями, трудоемки и технически сложны.

К числу деталей и узлов сложной формы можно отнести следующие: калибры и шаблоны с криволинейными профилями и поверхностями; фасонные резцы, протяжки и фрезы; сферические детали и инструменты; турбинные лопатки; некоторые узлы со сложным расположением поверхностей, в том числе криволинейных, и т. д.

Выбор методов и средств измерений этих объектов зависит от ряда условий: серийности производства, заданной точности (величины допуска), технологических и конструктивных баз, последовательности технологических операций и т. д.

Серийностью производства определяется, прежде всего, степень его механизации и автоматизации, а отсюда и требуемый уровень механизации и автоматизации контроля. Заданная точность (величина допусков контролируемых параметров) определяет выбор принципиальной схемы контроля и точности измерительных устройств. На этот выбор также влияют базы, от которых ведется обработка, и последовательность операций обработки. Приходится также учитывать задачи контроля: разбраковка на годные и брак или сортировка на группы или получение численных данных для регулировки и настройки процесса обработки.

В зависимости от указанных условий методы измерений и контроля деталей и узлов сложной формы разбиваются на две основные группы — методы универсально-координатные и методы сравнения с образцом.

2. МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ И ИЗМЕРЕНИЙ

Универсально-координатный метод измерения характеризуется численной оценкой расположения отдельных точек или участков поверхности относительно заданных баз и относительно друг друга. Координатные измерения профиля или поверхности объекта производятся в прямоугольных или полярных координатах, причем измеряемый объект должен быть правильно ориентирован своими базами относительно координатных осей. При некоторых универсальных методах измерение производится не в координатах, а относительно баз или по взаимному расположению отдельных участков объекта (например, равномерность расположения по окружности шлицев, отверстий и т. д.). По характеру фиксирования отдельных точек или участков профиля и поверхности универсально-координатные методы различаются как контактные и бесконтактные.

При контактных методах фиксация производится с помощью шупа — наконечника; при этом необходимо учитывать форму поверхности шупа, так как при неправильном выборе формы шупа в зависимости от формы измеряемой поверхности могут возникнуть дополнительные погрешности, иногда значительные.

При бесконтактных методах фиксация производится чаще всего оптическим способом, т. е. наведением на нужную точку или участок поверхности перекрестия сетки оптического прибора.

Метод сравнения с образцом характеризуется тем, что расположение точки профиля или поверхности контролируемого объекта сличается с аналогичными точками профиля или поверхности какого-то образца: копира, исходной детали, шаблона и т. д.

Эти методы также делятся на контактные и бесконтактные. Простейшим видом такого контроля является контроль профильными шаблонами. Этот вид контроля (контактного) очень распространен, так как не требует сложных контрольно-измерительных устройств, однако оценка годности контролируемого объекта несовершенна и в значительной мере субъективна. Оценка совпадения контролируемого профиля с профилем шаблона производится визуально, величина несоответствия определяется на глаз или при помощи шупа. Для контроля сложной детали с протяженной поверхностью (например, турбинной лопатки) требуется большое количество шаблонов, иногда довольно крупных.

В серийном и массовом производстве контроль турбинных лопаток по операциям и переходам производится при помощи специальных контрольно-измерительных приспособлений. На основании приспособления устанавливается контролируемая лопатка, чаще всего на технологических центрах, на которых она обрабатывается на фрезерном или шлифовальном станке. Иногда лопатка имеет вместо центров технологическую серьгу с отверстием, которая является технологической базой и так же, как и технологические центры, потом отрезается. На основании контрольного приспособления, кроме центров, имеются специальные пазы или базовые кнопки, по которым в направлении, перпендикулярном к оси лопатки, скользят плоские шаблоны, имеющие на одном конце профильные кромки, а на втором — выступы-упоры, называемые «зацепами» (рис. 6.1). Профильным шаблоном контролируется профиль лопатки в заданном сечении. «Зацеп» при этом должен упереться в боковую кромку плиты (основания) приспособления, что позволяет контролировать заданную толщину лопатки в данном сечении. На отклонения профиля лопатки и неплотное прилегание зацепа дается допуск, соблюдение которого контролируется шупом.

Замковая часть лопатки контролируется по шаблонам, а основные размеры расположения пазов замка индикаторным приспособлением от плиты, как от базы.

Более современным и перспективным с точки зрения возможности механизации и автоматизации является метод сравнения с копиром или исходной деталью [6]. При этом методе измерительный наконечник (или оптический луч) скользит по контролируемой поверхности. Движение измерительного наконечника (или измерительного преобразователя) задается через кинематическую схему от копира или исходного образца. Простейшая схема такого измерения показана на рис. 6.2.

Роль копира в современных измерительных системах может заменить определенная программа, заданная соответствующими алгорит-

мами. Фиксирование реальной поверхности контролируемого объекта (отклонения от заданной программы) передается на ту или иную отсчетную систему, которая может выдавать информацию об этих отклонениях. Не исключена также передача соответствующих командных импульсов на рабочие органы обрабатывающей машины.

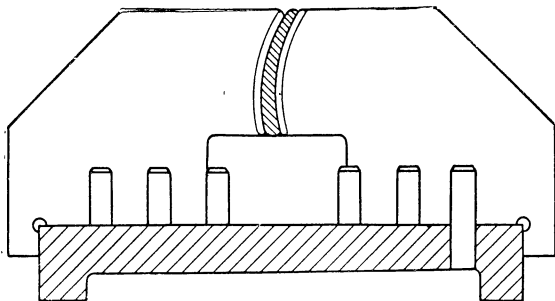


Рис. 6.1

Методы сравнения контролируемого объекта с образцом получили уже достаточное распространение, но пока в виде несложных копирных устройств с индикаторным отсчетом.

Бесконтактным методом сравнения является контроль плоских профилей на проекционных приборах. Сличение производится с чертежом, выполненным в определенном масштабе (например, 10, 20, 50

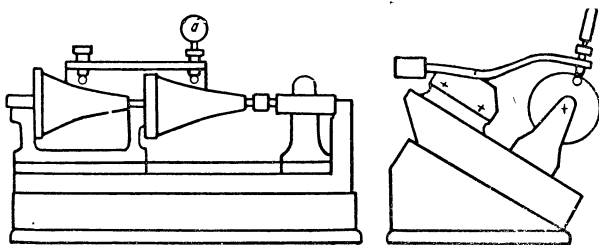


Рис. 6.2

или 100 крат) и расположенным на экране прибора. Оценка отклонений при этом производится либо на глаз, либо с помощью перемещения измерительного стола прибора (до совмещения контролируемого профиля с контуром чертежа).

При всех способах сравнения контролируемого объекта с образцом (кроме контроля по шаблонам) играет роль масштаб увеличения. Образец или контрольный чертеж лучше изготавливать в увеличенном масштабе, так как ошибки изготовления образца (или чертежа) соответственно сокращаются при передаче на измерительный наконечник и меньше сказываются на точности контроля.

3. СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ И ИЗМЕРЕНИЯ

Универсальные приборы

При измерениях сложных поверхностей универсально-координатным методом чаще всего применяют универсальные измерительные приборы и инструменты, а также комбинируют из них измерительные системы. Используются при этом универсальные измерительные и инструментальные микроскопы, координатные измерительные машины, длиномеры, делительные столы и головки, катетометры, стойки с отсчетными головками, штангенрейсмасы и т. д. (см. главу четвертую).

На универсальном измерительном микроскопе типов УИМ-21, УИМ-23, УИМ-24 производят измерения плоских шаблонов и контршаблонов в прямоугольных координатах, а также фасонных резцов (в том числе и дисковых) и фрез.

Плоский шаблон устанавливают на столе микроскопа так, чтобы его база была параллельна одному из ходов микроскопа. Задавая перемещения по одному из ходов микроскопа, снимают отсчеты по второму ходу.

Для измерения в полярных координатах кулачков, кулачковых валов, цилиндрических протяжек и т. п. на универсальный микроскоп устанавливают измерительную бабку, а также индикатор или подобную ему измерительную головку. Измеряемый объект соединяют через хомутик оправки с поводком измерительной бабки. С правой стороны объект поддерживается центром бабки, установленной на каретке микроскопа. Индикатор устанавливают так, чтобы его наконечник, находясь в радиальном направлении относительно объекта (например, кулачка), упирался с некоторым натягом в контролируемую поверхность. Задавая по измерительной бабке полярные углы и снимая отсчеты по измерительной головке, получают данные о кривой кулачка.

Дисковые кулачки можно измерять также на круглом столе, установленном на универсальном микроскопе. Кулачок должен быть при этом установлен так, чтобы его центр совместился с осью поворота стола. Отсчеты по радиус-вектору могут сниматься как с помощью центрального визирного микроскопа, так и с помощью измерительной головки, например индикатора.

При измерении коноида на универсальном микроскопе в полярных координатах измерения производят в каждом сечении, которые задают по продольному ходу.

Можно измерять коноиды и в прямоугольных координатах, но используя при этом дополнительно третью координату. Для этого вместо центрального визирного микроскопа устанавливают длиномерное приспособление ИЗВ-21 (см. главу четвертую). Задавая перемещения по двум ходам микроскопа, отсчеты снимают по длиномеру, имеющему пределы измерения по шкале 100 мм и цену деления 0,001 мм.

Аналогичным образом производятся измерения кулачков на оптической делительной головке. При этом для измерений по радиус-вектору применяют горизонтальный длиномер КИЗ-2, вертикальный длиномер ИЗВ-2 или ИЗВ-3. При отсутствии длиномеров можно в некоторых случаях (при небольшой разности наибольшего и наименьшего радиус-векторов) использовать измерительные головки типа индикатора. Для аналогичных целей используются также оптические делительные столы типа ОДС и ОДС-1.

При измерении крупных объектов, для которых оказываются недостаточными пределы измерений универсального микроскопа, или если они не помещаются на центрах оптической делительной головки, используются системы, собираемые на поверочной плите: оптический делительный стол или делительная головка с осью, повернутой вертикально; стойки с отсчетными головками. Может быть применена схема с использованием оптической делительной головки, установленной на край плиты. На ее шпинделе (установленном горизонтально) может быть закреплен диск со сложной образующей, отсчеты же могут сниматься по катетометру (КМ-6, КМ-8, КМ-9), наведенному с торцевой стороны на край диска (данные катетометров см. в главе четвертой).

Специальные приборы

В качестве приборов, являющихся одновременно универсальными и специальными, следует остановиться на универсально-переналаживаемых стендах, получивших в последнее время развитие как в СССР, так и за рубежом.

Универсальный стенд [1], разработанный и изготовленный ВПТИэлектро¹, представляет собой ряд унифицированных узлов, из которых при условии применения некоторых стандартных приборов и узлов (поверочных плит, делительных столов, измерительных головок и т. п.) можно собирать и налаживать измерительные стенды с различными пределами измерения. Стенд имеет следующие основные данные:

Пределы измерений длин в мм:	
в продольном направлении	0—500
в вертикальном направлении	0—300
Перемещение шупа (третья координата)	0—100
Цена наименьшего деления отсчетных микроскопов и контактного шупа в мм	0,01
Измерительное усилие в Н	0,5—0,7
Габариты стола в мм	1000×630×1800

На массивном чугунном основании 1 (рис. 6.3) вдоль одной из длинных сторон перемещается продольная каретка 2 со стойкой 7. Грубое перемещение каретки осуществляется с помощью маховика 3, а точное — с помощью микроподачи. На стойке 7 в вертикальном направлении перемещается каретка 5, грубое перемещение которой осуществляется маховиком 6, а точное — микроинтом. На каретке 5 укреплен оптико-механический контактный шуп 11, передвигаемый с помощью маховика 10 параллельно плоскости основания. Колебания наконечника шупа передаются через оптическую систему на экран. Измерительные системы стенда состоят из штриховых шкал и отсчетных микроскопов навесного типа. Для продольного хода шкала, находящаяся в корпусе 12, закрепляется на верхней плоскости основания. Отсчеты производятся по экрану 4. Для вертикального хода шкала укреплен на стойке в корпусе 8, а отсчеты производятся по экрану 9. Перемещение вертикальной каретки уравновешено грузом, находящимся внутри стойки. На стенде могут быть установлены оптический делительный стол или оптическая делительная головка, а также

¹ Автор и разработчик Б. И. Исаев.

стандартные синусные линейки и другие принадлежности. Измерение деталей со сложной геометрической поверхностью можно производить на стенде как в прямоугольных, так и в полярных координатах. Фиксация измеряемых точек поверхности может быть контактной или бес-

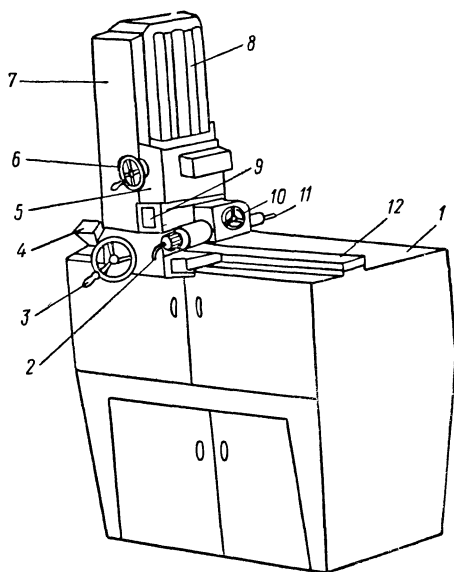


Рис. 6.3

контактной. В последнем случае удобно применение визирной трубы ППС-11 (выпускаемой Ленинградским оптико-механическим объединением), которая может быть установлена на вертикальной каретке вместо оптико-механического щупа. Различные вспомогательные приспособления облегчают установку на стенде контролируемых объектов и их выверку относительно координатных осей стенда [2].

Приборы для кулачков и коноидов

Для измерения дисковых автоматных кулачков, а также кулачков текстильных машин универсально-координатным методом применяют специальные приборы ИКТ-1 и ИКТ-2 с ценой деления линейных шкал 0,001 мм и угловых шкал 6", с пределами измерения до 300 мм по длине и 150 мм по радиусу [8].

Для измерения конических грибовидных коноидов с длиной не более 60 мм и радиусом не более 40 мм применяется прибор ИГК-1 (рис. 6.4). На схеме прибора обозначены: микроскоп для отсчета угла наклона коноида 1, микроскоп для измерения угла поворота рычага со щупом 2, отсчетные микроскопы 3 и для угла поворота коноида 4.

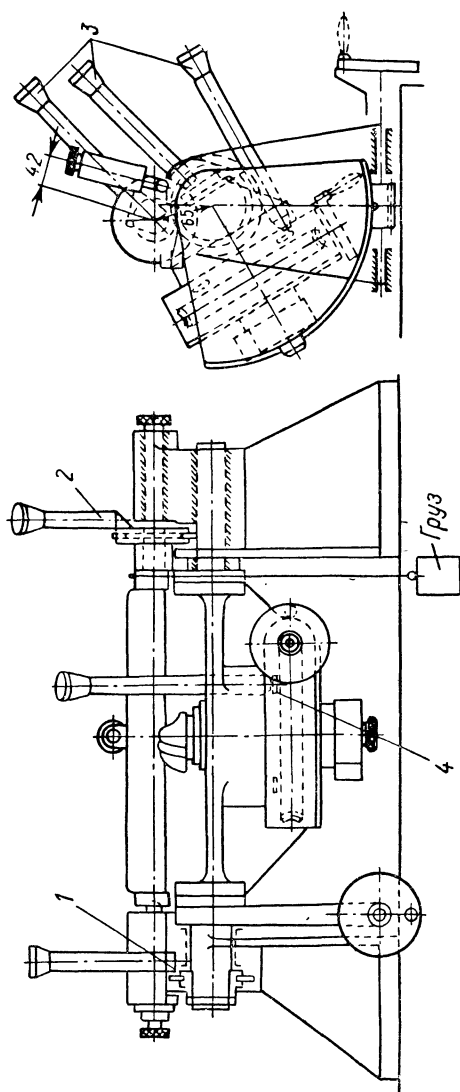


Рис. 6.4

Специальный прибор высокой точности для измерения кулачков и коноидов универсально-координатным методом создан на базе сочетания универсального измерительного микроскопа и оптической делительной головки ОДГ-6. Цена деления отсчетных микроскопов (линейных) 0,001 мм. Пределы измерения прибора по длине 400 мм, по радиус-вектору — 150 мм [5].

Для контроля кулачков методом сравнения применяются несложные приборы с отсчетными головками. Один из таких специальных приборов, предназначенных для контроля пазовых кулачков [5], показан на рис. 6.5. Кулачок-копир 2 и контролируемый кулачок 3, насаженные на оправку 4, вращаются совместно. Вращение оправки

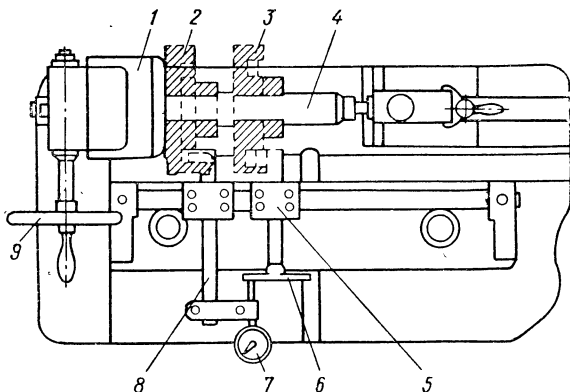


Рис. 6.5

производится шпиндельной бабкой 1 с помощью маховичка 9. Подвижная система 5, связанная с поводками, входящими в пазы кулачков, получает поперечные перемещения от копира. Отклонения контролируемого кулачка передаются на планку 6. Индикатор 7 закреплен на стержне 8. Рассогласование перемещения поводков в пазах кулачков отмечается индикатором, измерительная ножка которого упирается в планку 6.

Аналогичные измерительные устройства для цилиндрических пазовых кулачков имеют ось вращения, расположенную вертикально [5].

Специальные приборы ИКС и ИКС-1 служат для контроля методом сравнения с погрешностью $\pm 0,05$ — $0,1$ мм [5]. На этих приборах контролируются дисковые и цилиндрические кулачки, а также коноиды.

Контроль кулачков и коноидов методом сравнения на специальных приборах значительно менее трудоемок. Так, на приборах с механическими отсчетными устройствами на определение одной точки контролируемой поверхности универсально-координатным методом требуется 4—6 с [6], а на приборах с оптическими отсчетными устройствами — 6—16 с. На измерение всей поверхности затрачивается от 2,5 до 45 мин (в зависимости от величины полярного угла — частоты контролируемых точек), а иногда и больше. Контроль кулачка методом сравнения требует всего 20—30 с на весь цикл.

Приборы для контроля турбинных лопаток

Контроль профиля турбинной лопатки может быть осуществлен на универсальных приборах только вырезкой темплетов, т. е. небольшой плоскопараллельной части толщиной 2—3 мм. Такой темплет может быть установлен на микроскопе или проекторе. Этот способ мало применяется, так как требует разрушения лопатки.

Специальные приборы, построенные по принципу светового сечения, позволяют получить на экране профиль контролируемого сечения лопатки как со стороны «спинки», так и со стороны «корыта».

Поверхность пера лопатки предварительно покрывают тонким слоем специального покрытия (толщиной $\sim 0,01$ мм), что дает возмож-

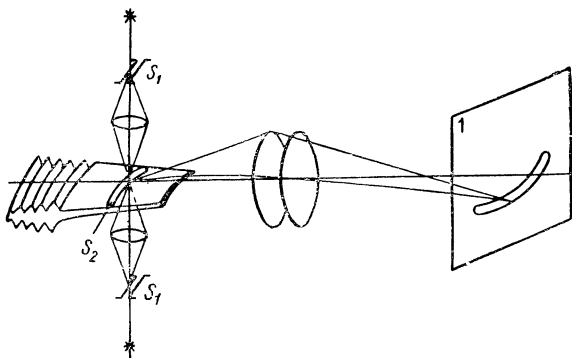


Рис. 6.6

ность получить диффузное рассеивание света. На поверхность лопатки, ось которой располагается вдоль оптической оси прибора (рис. 6.6), через щели S_1 направляют пучки света большой интенсивности. По контуру пера лопатки образуются яркие пояски S_2 , проецируемые на экран 1 и сравниваемые с исходным контуром. Отклонения спроецированного профиля от исходного измеряются при помощи перемещения экрана микрометрическими парами. Погрешность измерения при увеличении $10\times$ равна $\pm 0,05$ мм, при увеличении $20\times \pm 0,02$ мм.

По этому же принципу фирмой «Rank Taylor Hobson» (Англия) разработан прибор для контроля радиусов криволинейных входных и выходных кромок лопатки. При увеличении прибора $40\times$ погрешность измерения составляет $\pm 0,025$ мм [3].

На рис. 6.7 показан контрольный прибор, предназначенный для зарисовки профиля контролируемой лопатки. По поверхности лопатки 6, закрепленной в приспособлении 5, перемещаются два ролика 1, расположенные на рычагах 2. Ролики обкатываются одновременно по спинке и по корыту лопатки, а их перемещение контролируется вторыми, так называемыми режущими роликами 3, расположенными на противоположных концах рычагов 2. Режущие ролики, вращаясь, вырезают на стеклянной пластинке 4 слой краски и при перемещении в продольном направлении оставляют на пластинке след контролируемого профиля. Полученный таким способом контур сравнивается на проекторе с исходным, вычерченным в соответствующем масштабе.

На запись профиля лопатки по шести сечениям требуется примерно 5 мин. Погрешность измерения не более $\pm 0,02$ мм, измерительное усилие около 10Н [8].

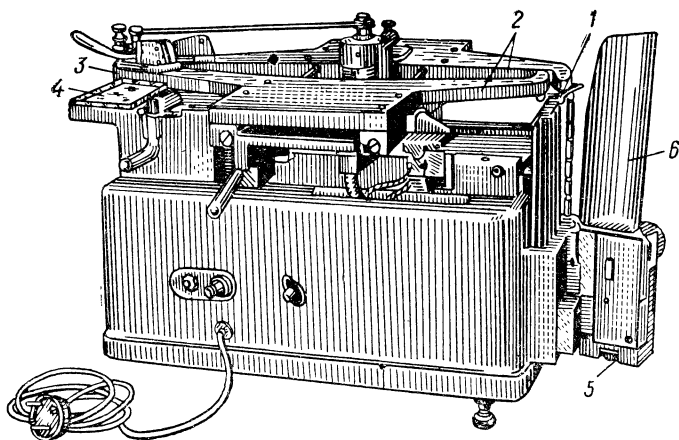


Рис. 6.7

Оптико-механический прибор ПОМКЛ-4 контролирует профиль пера лопатки в заданных сечениях при помощи контрольных игл-стержней. Иглы располагаются по контуру контролируемого сечения с шагом 5 мм. Противоположные концы игл-стержней, равных друг другу по длине, повторяя точечный контур профиля лопатки, вызывают перемещения связанных с ними рычагов. Концы рычагов проецируются на экран (рис. 6.8), на котором имеется исходный профиль, выполненный в соответствующем масштабе. Увеличение прибора $50\times$. Размеры проверяемых лопаток: ширина до 100 мм, длина до 250 мм. Измерительное усилие $1,2 \pm 0,2$ Н. Погрешность измерения $\pm 0,02$ мм [8].

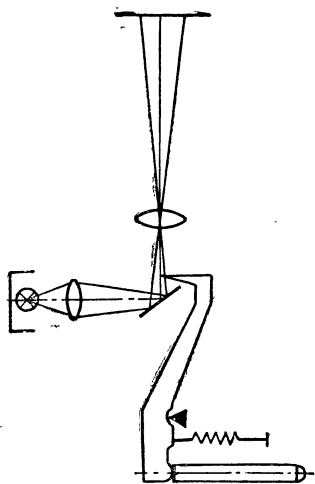


Рис. 6.8

Прибор для контроля профиля лопатки реактивного двигателя настраивается по исходной детали. Лопатка, контролируемая по профилю в 16 точках, устанавливается на прибор в специальной державке. По бокам основания укреплены на шарнирах две откидные рамки, несущие секторы с индикаторами. Рамки опускаются и устанавливаются в рабочее положение поочередно [8].

Специальная переналаживаемая измерительная машина, построенная по пневматическому принципу, предназначенная для контроля однотипных лопаток, выпускается фирмой «Sigma» (Англия). На машине можно контролировать ряд размерных параметров турбинных лопаток: толщину в разных сечениях, угол скоса, ширину и др. Лопатки могут быть длиной 50—400 мм. Комплект взаимозаменяемых деталей и приспособлений для установки и крепления лопаток позволяет производить перестройку машины при переходе на контроль другой лопатки всего за 5 мин [8].

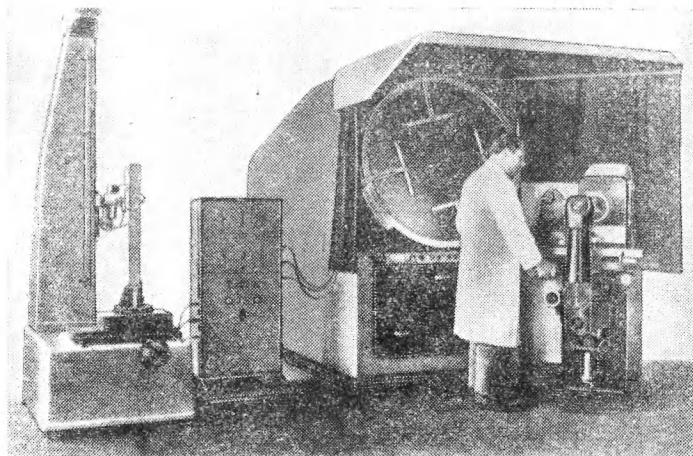


Рис. 6.9

Известны также опытные приборы-копирографы¹ — для зарисовки профиля лопатки в любом сечении. Профиль лопатки записывается острой иглой в масштабе 1 : 1 на прозрачную пленку, которую затем можно рассматривать и измерять на универсальном микроскопе или проекторе.

В последнее время на крупных заводах турбинных лопаток, в частности на Ленинградском заводе турбинных лопаток, нашли применение приборы фирмы «Microtechnica» (Турин, Италия; рис. 6.9). Принцип действия так называемого электронного шупа (модель TA-1500/200), применяемого совместно с проектором типа P-1000A, заключается в следующем. По поверхности спинки и корыта лопатки, устанавливаемой замком на круглом столе специального установочного узла, скользят ролики, находящиеся на концах шупей (типа кронциркуля) измерительного преобразователя. Установка преобразователя по высоте задается специальными выступами, передвигаемыми по вертикаль-

¹ Конструкция Б. И. Исаева.

ной штанге. Преобразователь, перемещаясь вертикально по стойке, автоматически фиксируется этими выступами и останавливается в заданном сечении лопатки. Обкатываясь по поверхности лопатки, ветви преобразователя разворачиваются на какие-то углы. Через сельсины преобразователи и блок усиления все перемещения стола и шарнирных ветвей преобразователя передаются на сельсины-приемники, имеющиеся на повторительном устройстве, установленном на проекторе.

Повторительное устройство (повторитель) имеет ветви с роликами, аналогичные ветвям преобразователя, которые повторяют все его перемещения. Концы ветвей повторителя находятся в проходящем пучке света проектора и проецируются на экран, на котором закреплен чертеж, выполненный в масштабе 10 : 1. Во время операции контроля изображение роликов повторителя «обкатывается» по профилю чертежа, на котором нанесены также поля допусков. При необходимости величину отклонения можно измерить при помощи микрометрической подачи стола проектора, на котором закреплено повторительное устройство [4].

Техническая характеристика прибора

Максимальная длина лопатки	1280 мм
Максимальная ширина лопатки	95 мм
Наибольшая толщина лопатки	45 мм
Измерительное усилие	2,7 Н
Погрешность измерения (через каждые 10 мм в пределах 100 мм)	$\pm 0,025$ мм

В комплект прибора входят: установочный узел со стойкой и электронный щупом-преобразователем; шкаф-блок усиления со щитом управления; повторитель; проектор типа Р-1000А [4].

Некоторые специальные приспособления

При контроле сложных деталей и узлов на плите часто возникает необходимость точной установки измерительного щупа (например, наконечника индикатора, установленного на стойке) по высоте. Для этого применяют блоки концевых мер длины. Однако подбор блока занимает много времени, а установка его на плите неустойчива. Вследствие этого появились различные приспособления, упрощающие этот процесс. Удачной конструкцией является микрометрическое установочное приспособление (высотомер), разработанное Б. И. Исаевым и применяемое на ряде Ленинградских заводов (рис. 6.10). Высотомер повышает точность и производительность контрольных, а также разметочных операций, осуществляемых на плитах. Его пределы измерений 30—500 мм, величина отсчета 0,01 мм, погрешность $\pm 0,005$ мм [2]. Аналогичные конструкции высотомеров выпускаются также зарубежными фирмами «Carl Mahg» и др.).

Для контроля равномерности окружного шага на шлицевых протяжках и калибрах-пробках применяются специальные шагомеры, разработанные на Уральском заводе тяжелого машиностроения им. С. Орджоникидзе [7]. Индикатор шагомера устанавливается на нуль по первому произвольно выбранному шагу. Затем по индикатору прибора фиксируются отклонения (с учетом знака) на остальных шагах. Полученные данные подвергаются обработке, причем сумма положительных отклонений (по абсолютной величине) от среднего значения

шага должна быть равна сумме отрицательных отклонений. Накладные детали сменные и позволяют измерять объекты с шагами до 50 мм. Погрешность измерения $\pm 0,01$ мм (чертежи УЗТМ, № И-14090).

Для этой же цели могут быть использованы шагомеры, выпускаемые Ленинградским инструментальным заводом (тип 757, № 1 и 2).

Для контроля различных геометрических размеров блоков тепловозных двигателей на ряде тепловозостроительных и тепловозоремонт-

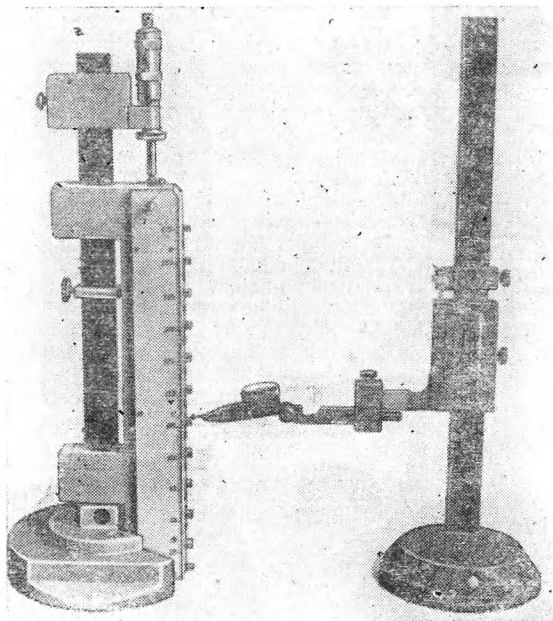


Рис. 6.10

ных заводов применяется специальный стенд, разработанный в ЦНИИ МПС [9]. Основной прибор в этом стенде—оптическая спаренная система, состоящая из визирной трубы и автоколлиматора. Спаренная система, установленная на каретке, может перемещаться в вертикальном направлении по колонке (рис. 6.11). Непрямолинейность перемещения спаренной системы контролируется с помощью автоколлиматора, против объектива которого помещается пентапризма, изменяющая направление лучей прибора вниз под углом 90° . В основание колонки встроено зеркало, по которому производится отметка автоколлиматором. Если перемещение спаренной системы вверх или вниз было не строго прямолинейным, то вторая отметка автоколлиматора (после перемещения) не будет равна первой. Разность отсчетов автоколлиматора может быть учтена при измерении как поправка.

Наводя спаренную систему на различного рода визирные марки и накладные зеркала, закрепляемые на поверхностях контролируемого

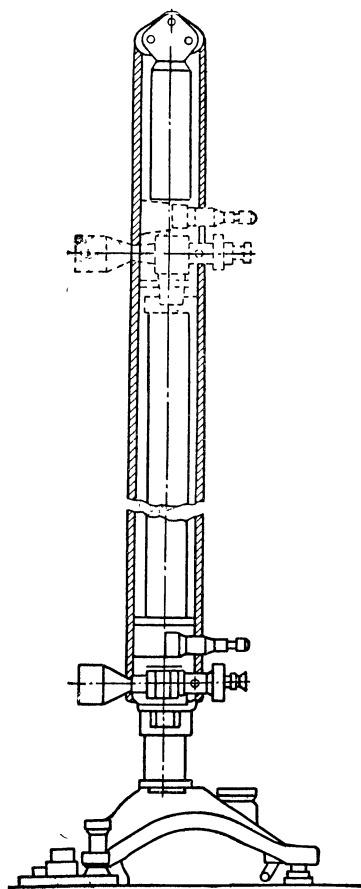


Рис. 6.11

блока, и снимая соответствующие отсчеты, производят контроль формы и расположения поверхностей. Для точного нахождения и фиксирования осей отверстий применяются визирные марки с независимым перемещением штока, разработанные ВПТИэлектро (автор Э. И. Розенберг). Независимое от опор перемещение штока со встроенным перекрестием позволяет при визировании марки исключить погрешности ее базирования в отверстии.

Накладные зеркала могут иметь самые различные базовые опоры в зависимости от того, на какие поверхности они накладываются. В целях исключения погрешности расположения собственно зеркала относительно базовых опор применяют также двусторонние плоскопараллельные зеркала. В этом случае зеркальная марка (т. е. зеркало на опорной части) устанавливается на контролируемую поверхность дважды, с поворотом на 180° . Первый отсчет автоколлиматора делается по одной стороне зеркала, второй — по второй стороне. Погрешность непараллельности сторон зеркала войдет в результат измерения, но она может быть весьма незначительной, так как вполне достижимая технологически непараллельность зеркала $0,0005$ мм на диаметре зеркала 50 мм дает угловую погрешность $2''$.

Подсчитанная полусумма отсчетов по обеим сторонам зеркала принимается в расчет.

Для улучшения базирования зеркальных накладных марок их иногда снабжают постоянными магнитами, обеспечивающими надежный прижим зеркальной марки к объекту из ферромагнитных материалов.

Применяются также микрометрические уровни с магнитным прижимом (см. главу седьмую).

Список литературы

1. Абаджи К. И., Исаев Б. И. Универсально-переналаживаемые средства контроля. — В кн: Передовая технология и автоматизация

управления процессами обработки деталей машин. Под ред. А. А. Маталина. Л., «Машиностроение», 1970, 702 с.

2. Абаджи К. И. Контроль размерно-геометрических параметров электрических машин. — «Технология электротехнического производства». Вып. 20, 1970, с. 23—26.

3. Володин Е. И. и др. Автоматизация и механизация средств контроля в машиностроении. М., Машгиз, 1962, 216 с.

4. Каталог фирмы «Microtechnica» (Турин, Италия).

5. Румянцев А. В. Измерение кулачков. М., Изд-во стандартов, 1968, 163 с.

6. Румянцев А. В. Технология изготовления кулачков. Л., «Машиностроение», 1969, 232 с.

7. Совершенствование средств технического контроля и измерений на Уральском заводе тяжелого машиностроения им. С. Орджоникидзе. НИИинформтяжмаш, № 68—7, 1968, 63 с.

8. Справочник по производственному контролю в машиностроении. Под ред. А. К. Кутая. Изд. 2-е. Л., Машгиз, 1964, 748 с.

9. Стеценко Е. Г., Абаджи К. И. Оптический прибор для измерения крупногабаритных изделий. ВИНТИ, 1959, 12 с.

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВ И КОНУСОВ

1. УГЛОВЫЕ МЕРЫ

Призматические угловые меры

Согласно ГОСТ 2875—62¹ призматические угловые меры изготавливаются следующих типов:

тип I — угловые плитки с одним рабочим углом со срезанной вершиной (рис. 7.1, а);

тип II — угловые плитки с одним рабочим углом остроугольные (рис. 7.1, б);

тип III — угловые плитки с четырьмя рабочими углами (рис. 7.1, в);

тип IV — шестигранные призмы с неравномерным угловым шагом (рис. 7.1, г);

тип V — многогранные призмы с равномерным угловым шагом двух исполнений: V-8 (рис. 7.1, д) и V-12 (рис. 7.1, е).

Плитки типа I имеют номинальные размеры угла α :

1'; 3'; 5'; 7'; 9'; 11'; 13'; 15'; 17'; 19'; 21'; 23'; 25'; 27'; 29';
1°; 2°; 3°; 4°; 5°; 6°; 7°; 8°; 9°.

Плитки типа II имеют номинальные размеры угла α :

От 10 до 79° (включ.)	через 1°	70 шт.
» 15 » 16°	» 10'	7 шт.
» 15 » 15° 10' (включ.)	через 1'	11 шт.
» 15 » 15° 01'	» 15"	5 шт.
» 15° 10' до 75° 50'	через 15° 10'	5 шт.

Плитки типа III имеют следующие номинальные размеры рабочих углов α ; β ; γ ; δ :

80°;	81°;	100°;	99°
82°;	83°;	98°;	97°
84°;	85°;	96°;	95°
86°;	87°;	97°;	93°
88°;	89°;	92°;	91°
90°;	90°;	90°;	90°
89° 10';	89° 20';	90° 50';	90° 40'
89° 30';	89° 40';	90° 30';	90° 20'
89° 50';	89° 59';	90° 10';	90° 01'
89° 59' 30";	89° 59' 45";	90° 00' 30";	90° 00' 15"

Призмы типа IV имеют номинальные размеры рабочих углов α ; β ; γ : 59°20'; 118°40'; 180°00'.

¹ ГОСТ 2875—62 перерабатывается в соответствии с рекомендацией СЭВ РС—3116—71.

Призмы типа V-8 имеют номинальные размеры углов α ; β ; γ ; δ : 45° ; 90° ; 135° ; 180° .

Призмы типа V-12 имеют номинальные размеры рабочих углов α ; β ; γ ; δ ; θ ; φ : 30° ; 60° ; 90° ; 120° ; 150° ; 180° .

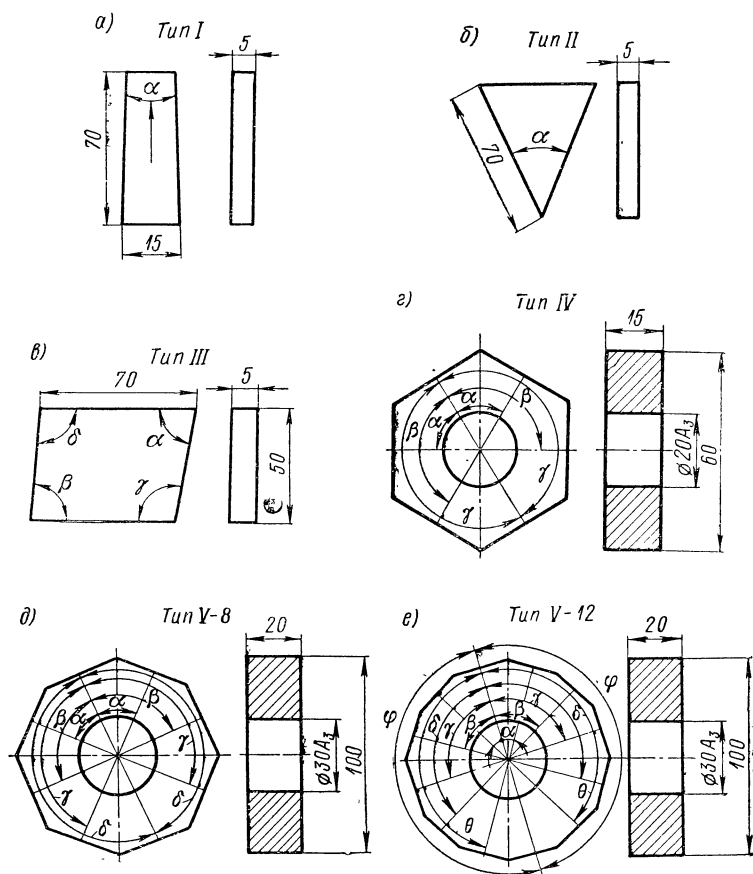


Рис. 7.1

По точности изготовления различают угловые меры трех классов: 0, 1 и 2. Допускаемые отклонения рабочих углов, а также допускаемые отклонения от плоскостности и расположения измерительных поверхностей регламентируются величинами, указанными в табл. 7.1.

В зоне 3 мм от коротких ребер плиток типов I, II и III допускаются завалы рабочих плоскостей не более 0,6 мкм. Шероховатость измерительных поверхностей угловых мер должна быть не грубее 13-го класса.

ТАБЛИЦА 7.1

Допускаемые отклонения угловых мер

Классы угловых мер	Рабочих углов в угл. с		От плоскостности измерительных поверхностей в мкм	От перпендикулярности измерительных поверхностей к нижнему основанию меры в угл. с	Допускаемая пирамидальность в угл. с
	Тип I, II и III	Тип IV и V			
0	± 3	± 5	0,10	± 30	10
1	± 10	± 10	0,15	± 60	40
2	± 30	± 30	0,30	± 120	40

Угловые меры комплектуются в наборы и могут поставляться в виде отдельных мер всех классов.

Для составления угловых мер в блоки и получения внутренних углов имеются специальные принадлежности и лекальные линейки, которые комплектуются в набор принадлежностей № 8. При составлении блоков угловых мер необходимо соблюдать те же правила, что и при составлении блоков из концевых мер длины (см. главу четвертую).

Угловые меры чаще всего применяются при лекальных работах, а также для поверки и аттестации измерительных инструментов и приборов, например при изготовлении угловых шаблонов, резьбовых резцов, при поверке угломеров и т. д.

Многогранные призмы применяются для поверки и аттестации различных делительных устройств и приборов, имеющих круговые лимбы, например для поверки делительных цепей зуборезных станков, делительных головок и столов, гониометров и т. п.

Перед применением угловые меры необходимо промыть чистым бензином, насухо протереть обтирочным материалом и осмотреть их рабочие поверхности. Меры, имеющие на рабочих поверхностях забоины, царапины, ржавчину и другие дефекты, к работе не пригодны и подлежат отправке в ремонт. Полная поверка призматических угловых мер производится по Инструкции 67—63 Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР.

Угольники

Согласно ГОСТ 3749—65¹ угольники различаются: по конструктивным признакам — шесть типов; по точности — три класса (0, 1, 2). Лекальные угольники — типы УЛ, УЛП, УЛШ, УЛЦ (рис. 7, 2, а—г) — изготавливаются калеными (классов 0 и 1) и применяются для лекальных и инструментальных работ. Угольники типов УП, УШ (рис. 7.3, а, б), — слесарные и применяются для нормальных работ в машино- и приборостроении.

Нормы точности угольников приведены в табл. 7.2—7.4. При контроле с помощью угольников оценивается величина просвета между

¹ ГОСТ 3749—65 перерабатывается.

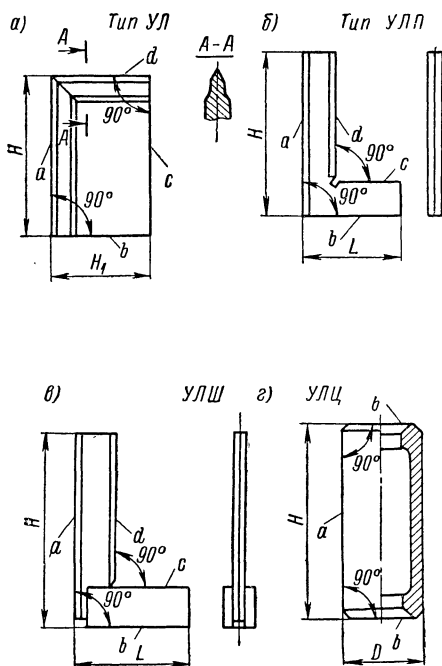


Рис. 7.2

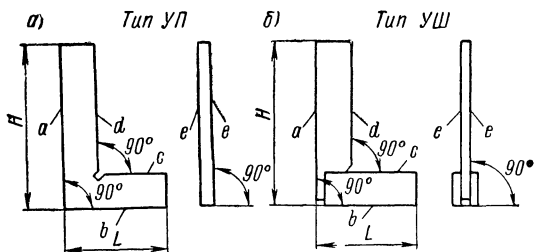


Рис. 7.3

ТАБЛИЦА 7.2

Допускаемые отклонения угольников (в мкм)

Высота угольни- ков <i>H</i> в мм	От перпенди- кулярности измерительных поверхностей к опорным			От плоскост- ности и пря- молинейности измеритель- ных поверх- ностей ¹			От плоскост- ности опорных поверхностей ¹			От параллель- ности опорных поверхностей ¹		
	Классы точности											
	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2
40	2,5	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
60	2,5	5	13	1,0	2	4	1,5	2,5	5	2,5	5	15
100	3,0	6	15	1,0	2	4	1,5	2,5	5	3,0	6	15
160	3,5	7	18	1,5	3	6	2,0	4,0	8	3,5	7	18
250	4,5	9	22	1,5	3	6	2,0	4,0	8	4,5	9	22
400	6,0	12	30	2,5	5	10	3,0	6,0	12	6,0	12	30
630	8,0	17	42	—	6	12	—	8,0	16	—	17	42
1000	—	24	60	—	10	20	—	12,0	24	—	24	60
1600	—	—	90	—	—	30	—	—	36	—	—	90

¹ Нормы точности относятся только к угольникам типов УЛП, УЛШ, УП и УШ.

угольником и контролируемым объектом: Просвет определяется на глаз или сравнением с просветом, созданным при помощи концевых мер длины и лекальной линейки, а также набором щупов. Точность применения угольников зависит от точности определения просвета при

ТАБЛИЦА 7.3

Допускаемые отклонения (в мкм) от прямолинейности
измерительных и плоскостности опорных поверхностей
угольников типа УЛ (см. рис. 7.2)

Высота угольни- ков H в мм	От прямолинейности изме- рительных поверхностей				От плоскостности опорных поверхностей			
	a		d		b		c	
	Классы точности							
	0	1	0	1	0	1	0	1
	60	1,0	2,0	1,0	2,0	1,5	2,5	1,5
100	1,0	2,0	1,0	2,0	1,5	2,5	2,0	4,0
160	1,5	3,0	1,0	2,0	2,0	4,0	2,0	4,0

ТАБЛИЦА 7.4

Допускаемые отклонения (в мкм) от прямолинейности измерительной и плоскостности опорных поверхностей угольников типа УЛЦ

Высота угольников <i>H</i> в мм	От прямолинейности изме- рительной поверхности		От плоскостности опорных поверхностей	
	Классы точности			
	0	1	0	1
160	1,5	3,0	1,5	2,5
250	1,5	3,0	2,0	4,0
400	2,5	5,0	2,0	4,0
630	3,0	6,0	2,0	4,0

контроле (см. стр. 689). Пригодность угольников определяется по их внешнему виду и поверкой точности. Угольники проверяются по основным параметрам точности следующими способами: по угольнику более высокого класса; методом трех; на специальных поверочных или универсальных измерительных приборах.

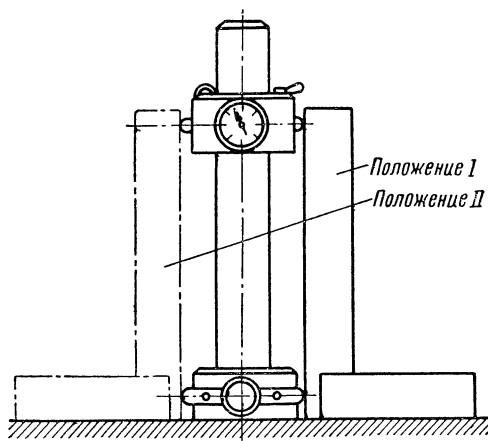


Рис. 7.4

Специальными являются так называемые приборы «двойного отклонения». Конструктивная разновидность такого прибора показана на рис. 7.4. Угольник ставят поочередно в положения *I* и *II*, вплотную придвигая его каждый раз к нижнему неподвижному упору. Отклонение от перпендикулярности измерительной поверхности к опорной определяют как полуразность отсчетов, полученных

по измерительной головке в обоих положениях угольника. Известны различные конструктивные варианты приборов, основанных на этом принципе, в том числе прибор ПКУ-3 ЧЗМИ, предназначенный для поверки угольников 2-го класса точности с размерами от 63×40 до 315×200 мм. Цена деления шкалы прибора 0,005 мм.

На принципе «двойного отклонения» основан метод поверки угольников с помощью автоколлиматора и плоскопараллельного зеркала [4]. Стальное двустороннее (плоскопараллельное) зеркало $\varnothing 40$ —50 мм, снабженное специальной струбиной, закрепляют на внешнем ребре длинной стороны угольника (рис. 7.5). Против зеркала устанавливают автоколлиматор, по которому снимается отсчет. Затем угольник пово-

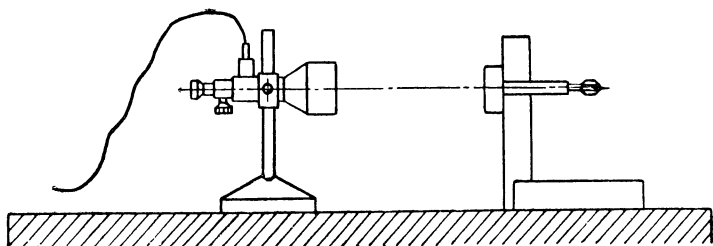


Рис. 7.5

рачивают на плите на 180° так, чтобы против автоколлиматора оказалась вторая плоскость зеркала, и снимают второй отсчет. Полуразность отсчетов по автоколлиматору дает величину отклонения угла угольника от 90° (в с).

Погрешность этого метода поверки угольников складывается из погрешности автоколлиматора и погрешности от непараллельности зеркала, которая может быть практически доведена до $2''$ (0,0005 мм на диаметре зеркала 50 мм). Таким образом, применив автоколлиматор с погрешностью $2''$ и плоское зеркало с непараллельностью сторон в $2''$, получают погрешность не более $\pm 4''$.

Поверка угольников может быть произведена на универсальном измерительном микроскопе, координатной измерительной машине или координатно-расточном станке. Угольник для этого укладывают на стол микроскопа (или станка), прижимая его опорной поверхностью к поверочной линейке, закрепленной на столе параллельно одному из ходов микроскопа (или станка).

На объективе микроскопа (или шпинделе станка) закрепляется рычажная головка с ценой деления 0,001 мм и подводится к ребру длинной стороны угольника. Измерив по головке отклонения от перпендикулярности в двух положениях угольника (т. е. с поворотом его на 180°), необходимо подсчитать алгебраическую полуразность двух отклонений, которая равна погрешности угольника (отклонению от перпендикулярности). Полусумма тех же отсчетов равна перпендикулярности ходов микроскопа (или станка).

Полная поверка угольников производится по ГОСТ 12369—66.

Угловые шаблоны

Угловые шаблоны представляют собой угловые меры специального назначения и специальной конструкции. Пример такого шаблона показан на рис. 7.6. Различают угловые шаблоны жесткие и регулируемые, работающие на просвет и рисочные. Они применяются для контроля фасок, скосов, резьбовых и фасонных резцов и т. п. Для более точных работ шаблоны изготавливают калеными и с острой гранью.

Точность применения угловых шаблонов при работе на просвет зависит от длины образующей контролируемого угла, шероховатости поверхности шаблона и объекта, от толщины шаблона, а также от яркости освещения. Приблизленно угловое отклонение контролируемого угла можно подсчитать по формуле

$$\Delta\varphi = \frac{2a}{l} 100\,000'', \quad (7.1)$$

где $\Delta\varphi$ — угловое отклонение; a — величина просвета в мм; l — длина образующей контролируемого угла в мм.

При хорошем освещении в случае использования угольника типа УЛП или шаблона с острой гранью можно различить простым глазом просвет 0,003 — 0,004 мм. Например, при длине образующей $l = 50$ мм просвет $a = 0,003$ мм соответствует угловому отклонению $\Delta\varphi = 12''$.

Проверка шаблонов производится по контршаблонам и угловым мерам.

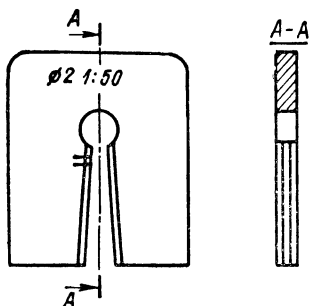


Рис. 7.6

2. УГЛОМЕРНЫЕ ПРИБОРЫ

Угломеры

Угломеры с нониусом (по ГОСТ 5378—66) выпускаются двух типов.

Угломеры типа УН (рис. 7.7 а) предназначены для измерения наружных углов от 0 до 180°, внутренних углов от 40 до 180° и имеют величину отсчета по нониусу 2' и 5'.

Угломеры типа УМ предназначены для измерения наружных углов от 0 до 180° и имеют величину отсчета по нониусу 2' и 5' (рис. 7.7, б) и 15' (рис. 7.7, в). Предел допускаемой погрешности угломера равен величине отсчета по нониусу.

Применяются также оптические угломеры УО по ГОСТ 11197—65 для измерения наружных углов от 0 до 180° и внутренних от 30 до 180°. Цена деления шкалы 5', а допускаемая погрешность $\pm 2,5'$ ($1/2$ деления).

При измерении углов с помощью угломеров подвижная и неподвижная ножки угломера должны быть плотно прижаты к образующей угла контролируемого объекта, после чего производится отсчет по нониусу или шкале. Полная проверка угломеров производится по ГОСТ 13006—67.

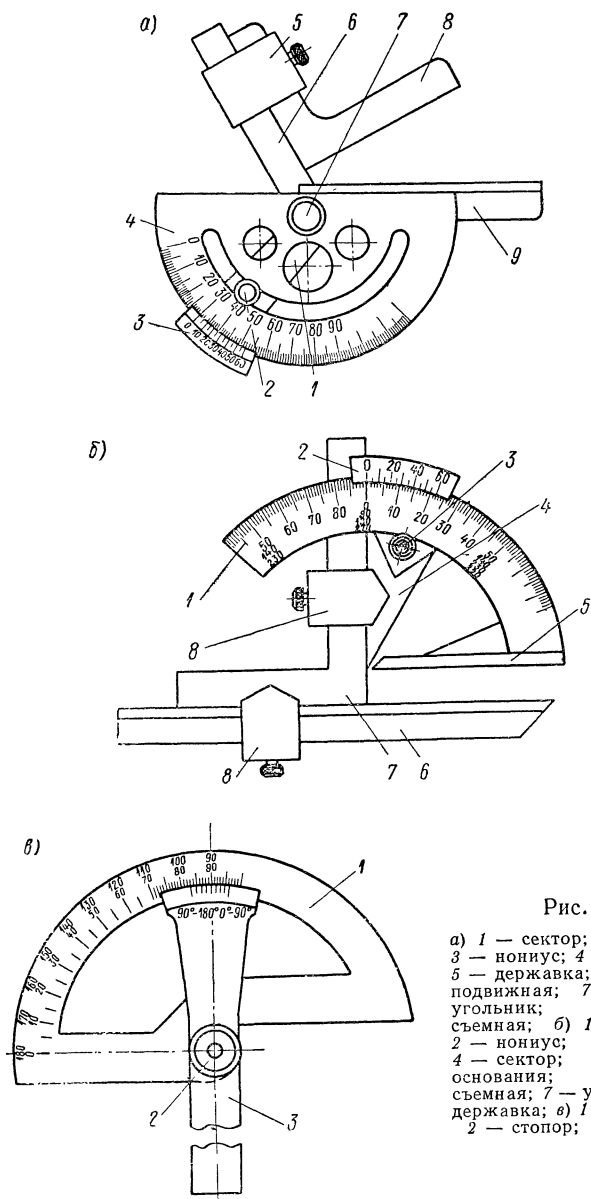


Рис. 7.7

а) 1 — сектор; 2 — стопор; 3 — нониус; 4 — основание; 5 — державка; 6 — линейка подвижная; 7 — ось; 8 — угольник; 9 — линейка съемная; б) 1 — основание; 2 — нониус; 3 — стопор; 4 — сектор; 5 — линейка основания; 6 — линейка съемная; 7 — угольник; 8 — державка; 9 — основание; в) 1 — основание; 2 — стопор; 3 — нониус

Прибор ПКМУ, выпускаемый Челябинским заводом мерительных инструментов (ЧЗМИ), предназначен для проверки методом сравнения призматических угловых мер 2-го класса от 10 до 100° (рис. 7.8).

Биелимеры, выпускаемые Ленинградским инструментальным заводом (ЛИЗ), применяются также на некоторых предприятиях для проверки угловых мер методом сравнения. При использовании на этих приборах измерительных головок с ценой деления 0,001 мм погрешность проверки угловых мер составит примерно $\pm 4''$, если погрешность показаний головки не более одного деления.

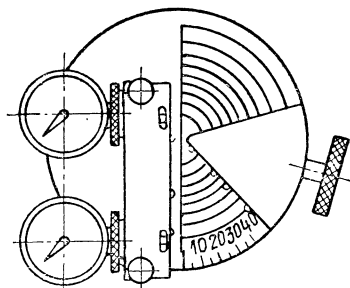


Рис. 7.8

Уровни

Уровни брусковые и рамные (ГОСТ 9392—60) предназначены для измерения малых угловых отклонений положения контролируемых объектов от горизонтальной или вертикальной плоскости. Брусковые уровни выпускаются двух размеров: с длиной рабочей базы 200 и 300 мм (рис. 7.9, а). Рамные уровни (рис. 7.9 б) выпускаются также двух размеров: 200×200 мм и 300×300 мм.

Измеряемое уровнем отклонение отсчитывается по ампулам (ГОСТ 2386—69), цена деления которых выражена в долях миллиметра на 1 м. Например, при помощи уровня с ценой деления 0,1 мм на 1 м производят установку станины станка; уровень показывает отклонение станины от горизонтального положения на два деления. Это означает, что для правильной установки станины длиной 2 м необходимо подложить подкладку толщиной 0,4 мм ($0,1 \times 2 \times 2 = 0,4$).

В угловых мерах цена деления уровня выражается в секундах (или минутах), причем одной сотой миллиметра соответствует приблизительно 2". В приведенном примере уровень имеет цену деления ампулы 20", т. е. смещение пузырька ампулы на одно деление означает наклон корпуса уровня на угол, равный 20".

Рамные уровни применяются для контроля положения вертикальных объектов (например, стоек и колонн станка), а также положения потолочных балок, сводов, траверс и т. п. Если рамный уровень положить боковой стороной 1 (рис. 7, 9, б) к вертикальной поверхности, то пузырек ампулы покажет отклонение этой поверхности от вертикального положения. Если рамный уровень будет приложен верхней стороной 2 (перекладиной) к нижней поверхности свода или станичной траверсы, то пузырек покажет ее отклонение от горизонтальной плоскости.

Предел допускаемой погрешности рамных и брусковых уровней при установке их основанием на горизонтальную плоскость или на горизонтально расположенный цилиндр, а также при установке рамного уровня (любой из его вертикальных рабочих поверхностей) по вертикальной плоскости или вертикальному цилиндру равен отклонению основной ампулы от среднего (нулевого) положения на $\frac{1}{4}$ деления.

При установке рамного уровня верхней стороной корпуса по горизонтальной поверхности или горизонтальному цилиндру предел допускаемой погрешности равен $\frac{1}{2}$ деления ампулы. Уровни по цене основной ампулы классифицируются (по ГОСТ 9392—60) следующим образом:

Цена деления основной ампулы в мм на 1 м	Группы уровней		
	I	II	III
	0,02—0,05	0,06—0,10	0,12—0,20

ГОСТ 3059—60 предусмотрены контрольные уровни с ценой деления 45" двух типов: для наблюдения показаний ампулы с боков — тип I, для наблюдения показаний ампулы сверху — тип II. Погрешность нулевого положения не более $\frac{1}{4}$ деления ампулы.

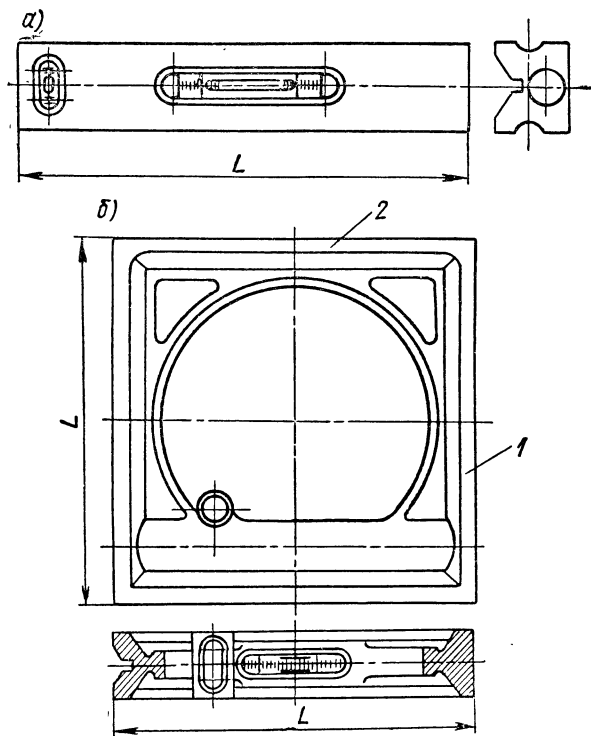


Рис. 7.9

Удобны в применении микрометрические уровни (тип 107) с ценой деления ампулы 0,01 мм на 1 м и пределами измерения 10 мм на 1 м. Уровень типа 119 имеет цену деления 0,1 мм на 1 м и пределы измерения ± 30 мм на 1 м или $\pm 1^\circ 43'$.

Еще более удобен уровень с микрометрической подачей и встроенным постоянным магнитом (рис. 7.10), разработанный в НИИТмаш¹. Притягивающее усилие магнитного блока превышает 20Н, что обеспечивает надежное фиксирование прибора, приложенного к объекту, расположенному в вертикальной плоскости и изготовленному из ферромагнитных сплавов. Этим исключается необходимость ручного прижатия уровня к объекту и повышается точность измерения. Действие магнитного блока может быть выключено поворотом выключателя [5].

Предел допускаемой погрешности уровня повышенной точности (тип 107) в диапазоне двух средних оборотов шкалы, симметрично

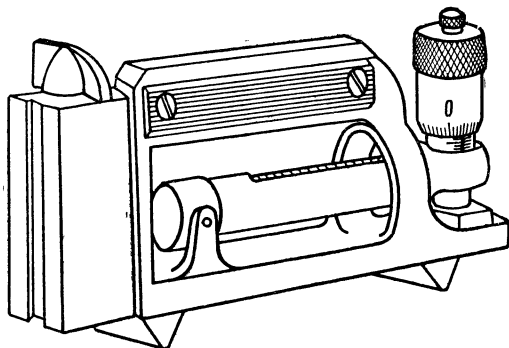


Рис. 7.10

расположенных относительно среднего деления, $\pm 0,01/1000$ мм ($\pm 2''$) и в пределах всей шкалы $\pm 0,02/1000$ мм ($\pm 4''$).

На рис. 7.11 показан один из типов оптических квадрантов (ГОСТ 14967—69) — приборов, соединяющих в себе конструктивно угломер с уровнем. Квадранты с ценой деления $5''$ и $1'$ предназначены для измерения угловых отклонений объектов от горизонтального положения в пределах $\pm 120^\circ$. Допускаемая погрешность показаний квадранта с ценой деления $5''$ составляет $\pm 2''$ и квадранта с ценой деления $1' — \pm 15''$.

Оптический квадрант ОШ-14 со встроенным в основание магнитом имеет цену деления $1'$, и соответственно этому допускаемая погрешность его $\pm 15''$.

Индуктивный уровень модели 129 (завода «Калибр») вместо ампулы имеет маятник, смещения которого воспринимаются измерительными преобразователями и преобразуются в электрические сигналы, усиливаемые и подающиеся на показывающий прибор [8].

К преимуществам индуктивного уровня относятся: высокая точность, меньшая зависимость от температуры окружающего воздуха и возможность проведения дистанционных измерений. Последнее обусловлено, во-первых, малыми габаритами накладного прибора и,

¹ Уровень разработан К. И. Абаджи и Е. А. Пинусом.

во-вторых, тем, что показывающий блок имеет автономное питание и соединяется с накладным прибором при помощи длинного шланга. Показывающий прибор имеет четыре шкалы, градуированные с разной ценой угловых делений (2; 4; 10; 20") и соответственно с этим пределами измерений (50; 100; 240; 480 с). Допустимые погрешности индуктивного уровня: 2; 4; 10; 20" [8].

Проверка пригодности уровней к работе производится по их внешнему виду и по нулевому положению ампулы. Весьма важным требованием является отсутствие забоин на опорных поверхностях уровня. Нулевое положение основной ампулы проверяется на плите двукратно,

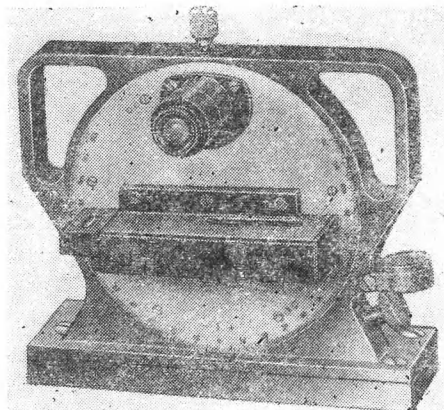


Рис. 7.11

с поворотом уровня на 180° . Если уровень имеет при этом одинаковое смещение пузырька ампулы, то он правилен, а смещение вызвано отклонением плиты от горизонтального положения. Если же уровень покажет разные отсчеты, то полуразность даст ошибку нулевого положения уровня, а полусумма — величину отклонения плиты от горизонтального положения. Для проверки уровней очень удобны плиты размером 200×200 мм, установленные на трех домкратах, с помощью которых можно легко отрегулировать строго горизонтальное положение плиты. Благодаря этому значительно упрощается процесс проверки уровня.

Уровни, имеющие призматические опорные поверхности, устанавливаются на валик, расположенный на плите или в центрах, и также снимают отсчет по ампуле двукратно, с поворотом уровня на 180° .

Полная проверка брусковых и рамных уровней производится по Инструкции 131—61 Госкомитета стандартов, мер и измерительных приборов СССР; микрометрических уровней — по ГОСТ 15982—70; оптических квадрантов — по ГОСТ 13402—67.

При проверке уровней применяются специальные приборы, называемые экзаменаторами; они имеют точную микрометриче-

скую пару и отсчетное устройство с лимбом. Верхняя подвижная планка отклоняется с помощью винтовой микрометрической пары (вверх или вниз) на малые углы относительно неподвижного основания прибора. Угловую величину отклонения планки отсчитывают по лимбу, имеющему цену деления 1; 2; 5; 10". Поместив на верхней планке экзаменатора поверяемый уровень (или ампулу), устанавливают ее так, чтобы пузырек ампулы был в нулевом (среднем) положении, и снимают отсчет по лимбу. Затем верхнюю планку экзаменатора отклоняют до тех пор, пока пузырек уровня не переместится точно на одно деление. Сняв второй отсчет по лимбу и вычислив разность между двумя отсчетами, получают действительную цену деления уровня (или ампулы) в секундах. Так же определяется погрешность нескольких делений.

Методы и средства поверки экзаменаторов с лимбовым отсчетом определены ГОСТ 13012—67.

Для поверки с повышенной точностью применяют высокоточный клиновидный экзаменатор [10]. В поворотной штанге экзаменатора встроен автоколлиматор с фокусным расстоянием объектива 800 мм, который наводится на кварцевый клин. Величина поворота штанги-автоколлиматора регистрируется по автоколлимационному окуляру. Преимущество этого экзаменатора заключается в том, что он свободен от периодических погрешностей микрометрической пары. Цену деления отсчетного устройства экзаменатора определяют по клину, измеренному интерференционным методом, и автоколлиматору.

Завод «Калибр» освоил выпуск экзаменаторов с трубкой оптиметра и индикатором ИИГМ с ценой деления 0,001 мм (модель 130). Погрешность экзаменатора с трубкой оптиметра $\pm 0,4 \div 0,6$ мкм, а экзаменатора с индикатором ИИГМ $\pm 2 \div 3$ мкм [8].

Угломерные головки

Для измерения углов используются микроскопы, оснащенные угломерными штриховыми головками. Угломерные головки чаще всего применяются для измерения угла профиля резьб, а также углов различных фасонных профилей (см. главу четвертую).

Рассматривая через микроскоп с увеличением $30\times$ плоскую проекцию измеряемого объекта, совмещают сетку окуляра поочередно с образующими угла, делая каждый раз отсчеты по специальному угломерному устройству. Цена деления головок обычно 1', однако в некоторых микроскопах, например типа «Гэртнер», цена деления уменьшена при помощи нониуса. С помощью угломерных головок на микроскопах можно измерять углы от 0 до 360° .

Погрешность измерения, производимого с помощью угломерной головки, определяется формулой

$$\gamma = \pm \left(2 + \frac{1,7}{f} \right)', \quad (7.2)$$

где f — длина образующей угла в мм.

Полная поверка угломерной головки производится по Инструкции 106—56 или 107—56 Госкомитета стандартов Совета Министров СССР.

Гониометры и теодолиты

Гониометры (рис. 7.12) являются точными приборами для измерения углов между гранями изделий, например оптических призм. Коллиматор 4 и визирная труба 2 предназначены для наводки на грани измеряемого объекта (призмы или угловой меры). Отсчетное устройство служит для отсчетов относительных угловых перемещений стола 3 и алидады 1.

Объект помещают на столе, установленном таким образом, чтобы изображение перекрестия коллиматора, отразившись от одной из граней объекта, совместились с перекрестием визирной трубы. После снятия отсчета стол с объектом поворачивают до тех пор, пока вторая грань не займет такое же положение относительно коллиматора и визирной трубы, как и первая грань. Разность между отсчетами даст величину $180^\circ - \alpha$ (α — искомый угол между гранями).

Согласно ГОСТ 10021—62 гониометры выпускаются следующих типов: ГС-1, ГС-2, ГС-5, ГС-10, ГС-30 с пределами допускаемой погрешности соответственно 1, 2, 5, 10, 30".

Полная поверка гониометров производится по ГОСТ 13419—68.

Роль гониометра в ряде случаев выполняют применяемые в промышленности геодезические приборы — теодолиты ТБ-1 с ценой деления 1", ОТ-02 с ценой деления 0,2" и др.

В соответствии с ГОСТ 10529—70 (с едиными обозначениями теодолитов) теодолит Т05 характеризуется средней квадратической погрешностью измерения (горизонтальных углов) $\pm 0,5''$, Т1 — $\pm 1''$, Т2 — $\pm 2''$, Т5 — $\pm 5''$, и т. д. Для измерений в машиностроении применимы теодолиты Т05, Т1, Т2, Т5 и в некоторых случаях Т10.

Для применения теодолитов в условиях промышленного предприятия необходим коллиматор с перекрестием, по которому наводится и отмечается труба теодолита. Коллиматор — оптическая труба, в фокусе объектива которой помещаются освещенное перекрестие или иная подобная марка. Изображение освещенного перекрестия выходит из объектива в параллельном пучке света. С помощью коллиматора имитируется, таким образом, наводка теодолита на бесконечно удаленную точку.

Если теодолит используется как гониометр, необходим еще автоколлиматор для наводки на грань измеряемого объекта (рис. 7.13). Автоколлиматор в отличие от коллиматора снабжен автоколлимационным окуляром. Лучи, выходящие из автоколлиматора и несущие изображение освещенного перекрестия (марки), встретив на своем пути зеркало, отражаются. Если плоскость зеркала строго перпендикулярна оси пучка лучей, то отраженное изображение перекрестия, вернувшись в трубу, совпадает с самим перекрестием. Если же зеркало наклонено к оси пучка, то отраженное перекрестие сместится в фокальной плоскости объектива на расстояние

$$S = 2F\theta, \quad (7.3)$$

где F — фокусное расстояние объектива в мм; θ — угол наклона зеркала к главной оси пучка в рад.

Величина смещения отраженного от зеркала изображения перекрестия измеряется окулярной сеткой или окулярным микрометром и по величине этого смещения можно судить о величине угла наклона

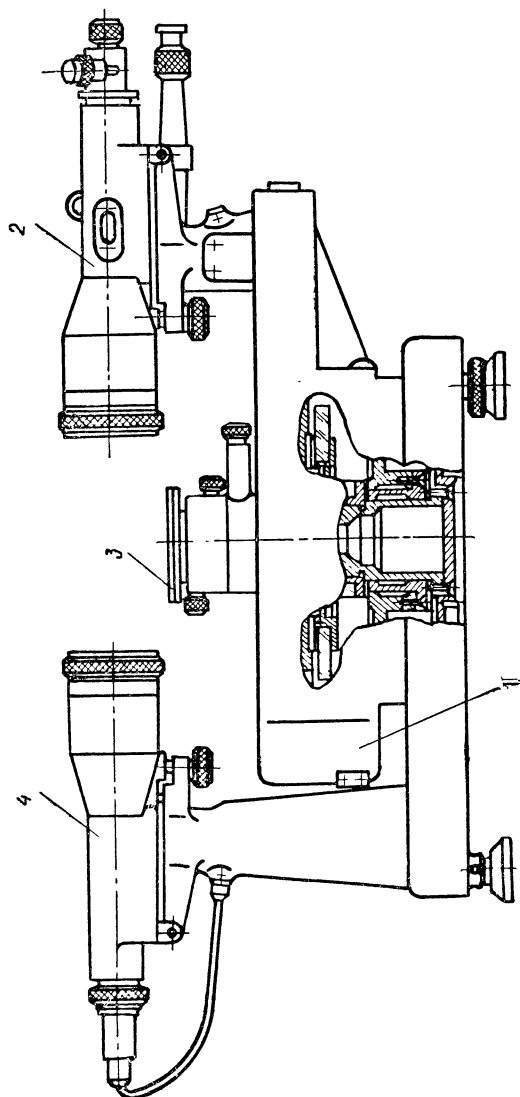


Рис. 7.12

зеркала. Для этой цели окулярные сетки или отсчетные устройства автоколлиматоров градуируются в угловой мере.

Теодолит устанавливают на любом поворотном столе, например на круглом столе большого инструментального микроскопа (рис. 7.13) приблизительно по центру. Под теодолитом 1 на столе 4 помещают

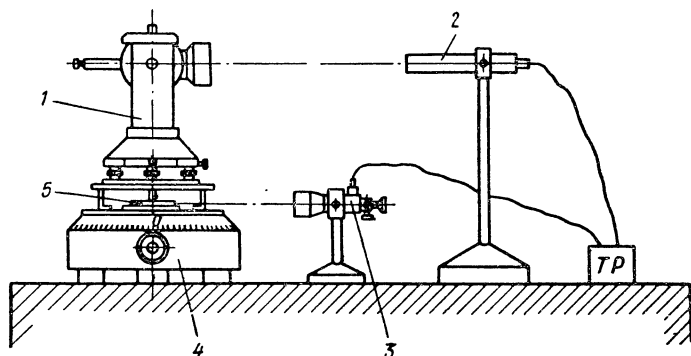


Рис. 7.13

измеряемый объект, например угловую меру 5, на грань которой наводится автоколлиматор 3. Поворотом стола автоколлиматор устанавливают на нуль. Трубу теодолита наводят на коллиматор 2 и делают отсчет по горизонтальному лимбу теодолита. Затем стол поворачивают до тех пор, пока автоколлиматор не покажет такого же отсчета, что

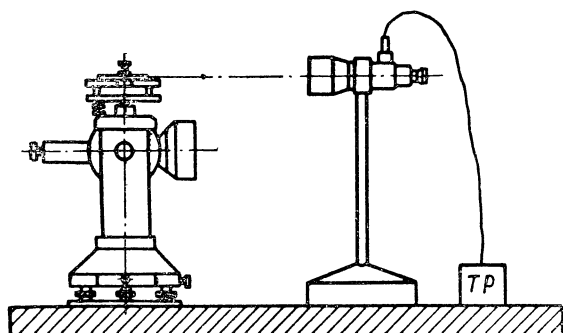


Рис. 7.14

и в первый раз (т. е. нуль), по второй грани измеряемого объекта. Труба теодолита вторично наводится на коллиматор, и делается второй отсчет, разность которого с первым даст величину измеряемого угла.

Теодолит может быть использован и без коллиматора и поворотного стола. При этом измеряемый объект помещают на специальный столик, укрепленный на колонке теодолита (рис. 7.14) и вращающийся вместе

с нею. Автоколлиматор наводится поочередно на грани измеряемого объекта, а по теодолиту снимаются отсчеты, разность которых составляет $180^\circ - \alpha$ (α — искомый угол). Теодолиты ЮС-41 и ТБ-3 (старые обозначения) являются автоколлимационными, так как имеют автоколлимационный окуляр. Это дает им некоторое преимущество перед обычными теодолитами и расширяет возможности их применения. Так, при использовании схемы, показанной на рис. 7.13, такой теодолит можно наводить не только на коллиматор, но при отсутствии такового и на плоское зеркало.

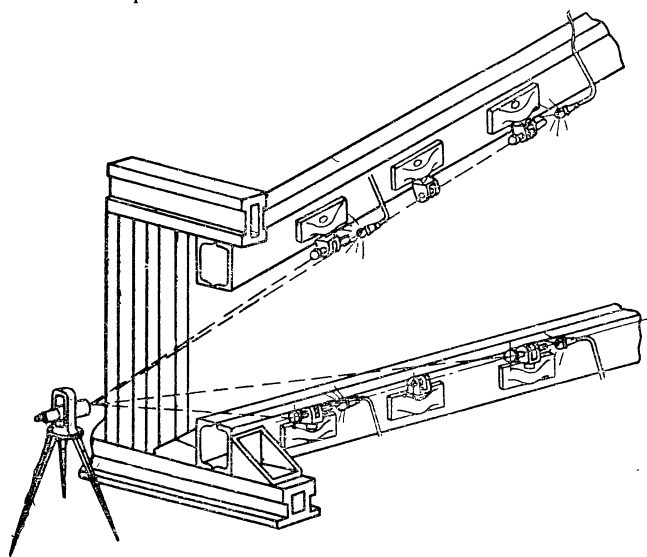


Рис. 7.15

Теодолиты применяются для контроля делительных устройств, делительных цепей зуборезных станков и подобных объектов. В этом случае теодолит устанавливают на контролируемом устройстве или станке и наводят на коллиматор, а автоколлимационный теодолит — на зеркало. Повороты задаются контролируемым объектом, а разности отсчетов теодолита дают аттестацию контролируемых углов.

При контроле расположения и монтажа стальной оснастки в самолюстроении также применяются теодолиты, причем труба теодолита наводится на визирные марки, закрепленные на стальных балках [7]. На рис. 7.15 показана одна из схем применения теодолита. Визированием марок, вставленных в фиксаторы стальных балок, контролируется угловое расположение балок. Вначале находят такое положение колонки теодолита, при котором труба его, поворачиваясь только в вертикальной плоскости, визирует марки одной из балок стапеля. Отсчет снимают по горизонтальному лимбу теодолита, затем поворачивают колонку теодолита и находят для нее такое положение, при котором труба визирует марки второй балки. Сняв второй отсчет по горизон-

тальному лимбу и подсчитав разность между первым и вторым отсчетами, находят угол между балками в горизонтальной плоскости.

Для измерения угла между балками в вертикальной плоскости нужно было бы установить теодолит в такую точку, из которой можно визировать марки обеих балок, находящихся с ним в «створе». Теодолит, иначе говоря, должен находиться в вершине угла, образуемого осями, проходящими через марки обеих балок. Однако такое положение найти очень трудно, а в некоторых случаях (в условиях цеха) невозможно. Выход из положения находят в том, что теодолит устанавливают на специальную стойку, имеющую довольно значительное вертикальное перемещение. Установив теодолит на стойке в «створ» с одной из балок (по ее маркам), например по нижней, снимают отсчет по вертикальному лимбу теодолита. Затем теодолит поднимают вверх до тех пор, пока он не окажется «в створе» со второй балкой. При этом надо также найти правильное положение трубы в вертикальной плоскости, а если нужно, то и в горизонтальной. Поместив теодолит в створ со второй балкой, снимают второй отсчет по вертикальному лимбу. Затем по разности отсчетов находят искомый угол.

Следует при этом указать, что для исключения ошибок положения теодолита, могущих возникнуть от неточности перемещения (перекосов) по вертикали, применяют так называемую отметку теодолита по неподвижному зеркалу [3].

Автоколлимационный теодолит ТБ-3 имеет отверстие в основании, под которым можно поместить зеркало. По этому зеркалу делается отметка как перед первым отсчетом, так и перед вторым. Если при второй отметке обнаруживается отклонение, то во второй отсчет вносится соответствующая поправка.

Делительные головки и столы

Для измерения центральных углов и измерений в полярных координатах применяются универсальные делительные головки (ГОСТ 8615—69 и ГОСТ 986—69) и оптические делительные головки (ГОСТ 9016—59). С их помощью можно измерять углы в пределах от 0 до 360°. Величина отсчета оптических делительных головок от 2" (ОДГ-2) до 1' (ОДГ-60). Измеряемые объекты крепятся в шпинделе головки (рис. 7.16) или в центрах. В последнем случае головка должна быть установлена на станине и иметь заднюю бабку с центром (рис. 7.17). Делительные головки применяются также и для точных поворотов деталей во время их обработки.

Для тех же целей, что и делительные головки, применяются оптические делительные столы. Они могут быть использованы на фрезерных и сверлильных станках, а также как измерительные приборы. Величина отсчета оптического делительного стола ОДС—1', стола ОДС-1 — 20".

Измерительные бабки ИБ-21 и ИБ-25, входящие в комплект универсальных измерительных микроскопов УИМ-21 и УИМ-23 (см. главу четвертую) сходны по конструкции с оптическими делительными головками, но применяются только с микроскопами. Цена деления бабки 1' или 20".

Круглые столы СТ-9 к измерительным микроскопам УИМ-21 имеют такую же цену деления. Круглые столы СТ-25 к измерительным микроскопам УИМ-23 имеют цену деления 5".

Народным предприятием «Carl Zeiss» (ГДР) выпускаются оптические делительные головки 130 с ценой деления секундной шкалы $10''$. В качестве дополнительного приспособления к оптической делительной головке поставляется прибор для измерения кулачковых валов в полярных координатах. Величина отсчета на приборе $0,001$ мм, предел измерения по шкале подвижной пинноли 100 мм. На рис. 7.17 показана оптическая делительная головка 130 на станине [11].

Для отметки углов поворота объектов, закрепленных на делительных головках и столах, применяются индикаторы часового типа,

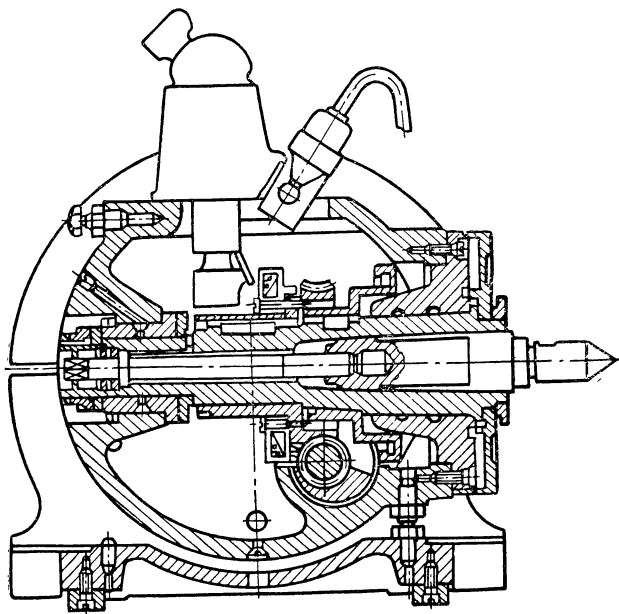


Рис. 7.16

специальные рычажно-чувствительные упоры или оптические фиксаторы. Например, нужно измерить центральный угол двух пазов, расположенных на периферии диска, установленного на центрах делительной головки. Для отметки может быть применен специальный рычажно-чувствительный упор [11]. Ножка упора устанавливается на край первого паза так, чтобы на шкале измерительной головки упора был нуль. По делительной головке снимается отсчет, и упор отводится. Шпиндель головки поворачивается до тех пор, пока второй паз не займет положение первого, т. е. пока упор не установится с тем же показанием по краю второго паза. Делается второй отсчет по головке. Разность обоих отсчетов дает величину угла поворота головки, т. е. искомого угла.

Прибор КИЗ-2, выпускаемый как дополнительное приспособление к оптической делительной головке, может использоваться и как

фиксатор при угловых измерениях, и для измерения радиуса-вектора при измерениях на головке в полярных координатах. Цена деления оптического устройства 0,001 мм, предел измерения по шкале подвижной пиноли 100 мм.

В качестве оптического фиксатора может быть использован автоколлиматор, наводимый на зеркала, закрепленные на площадках (гранях), угол между которыми измеряется на делительном столе или головке. Установив деталь таким образом, чтобы автоколлиматор показал ноль по зеркалу, наложенному на первую площадку, и сняв отсчет по делительному столу (головке), поворачивают затем стол (головку) с деталью; при этом автоколлиматор должен показывать ноль по зер-

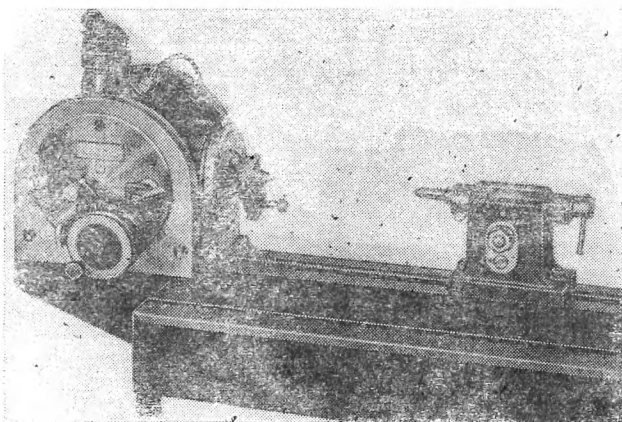


Рис. 7.17

калу, наложенному на вторую площадку. Разность отсчетов по лимбу стола (головки) дает величину измеряемого угла.

Необходимым условием правильного закрепления объекта в шпинделе делительной головки или на планшайбе делительного стола является точное его центрирование, т. е. совмещение оси объекта с осью вращения головки или стола. Центрирование контролируется по величине биения с помощью индикатора.

Однако применение коллиматора или автоколлиматора в качестве фиксатора позволяет исключить влияние погрешности эксцентриситета на результат измерения, если величина эксцентриситета не очень велика и зеркало при повороте стола оказывается против объектива автоколлиматора. Исключение погрешности эксцентриситета происходит за счет того, что изображение перекрестия выходит из коллиматора (или автоколлиматора) в параллельном пучке света. Отметка по такому перекрестию аналогична отметке по бесконечно удаленной точке. Угловая погрешность измерения, возникающая от наличия эксцентриситета, равна при этом нулю.

Этот принцип исключения погрешности центрирования использован в угломерном приборе народного предприятия «Carl Zeiss» (ГДР).

В корпусе прибора имеется автоколлимационная труба, наводимая на неподвижное зеркало, стоящее на удобном от прибора расстоянии, не превышающем примерно 1,5 м. Цена деления точной шкалы отсчетного устройства стола 1" [11].

Пределы допускаемой погрешности делительных головок: универсальных (ГОСТ 986—59) — 2'; оптических (ГОСТ 9016—59) ОДГ-2 — 2"; ОДГ-5 — 5"; ОДГ-10 — 10"; ОДГ-60 — 20".

Перед использованием делительной головки с задней бабкой необходимо осуществлять контроль и регулирование взаимного положения центров головки и задней бабки. Для этого на переднем центре

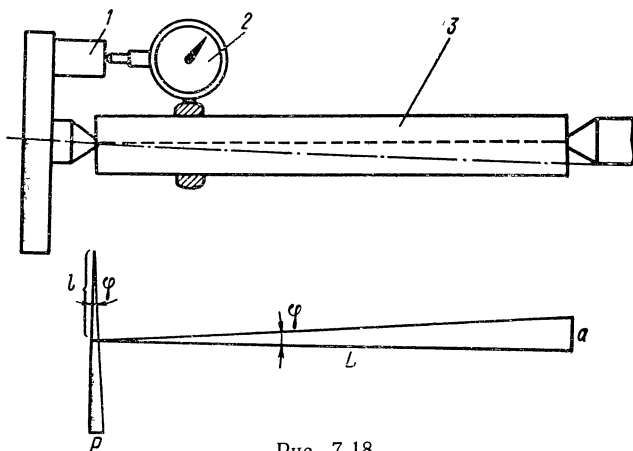


Рис. 7.18

закрепляется специальный поводок 1 (рис. 7.18). На центрах устанавливается оправка 3 примерно той же или большей длины, чем та, которая будет применена при использовании головки. На оправке закрепляются хомут и специальная трубка с рычажной головкой или индикатором 2, измерительный наконечник которого упирается (с натягом) в поводок 1. Шпиндель вращается вместе с рычажной головкой, а центр задней бабки регулируется до тех пор, пока колебания стрелки головки или индикатора не будут укладываться в пределы допуска. Величину допускаемого биения необходимо устанавливать исходя из следующего расчета. При расстоянии оси индикатора от оси шпинделя l , величине допустимого отклонения центра задней бабки от соосного положения с центром шпинделя a и расстоянии между центрами L допустимое биение индикатора P (в мм) равно

$$P = 2l \frac{a}{L}. \quad (7.4)$$

Например, если $L = 500$ мм, $a = 0,05$ мм, $l = 50$ мм, то

$$P = 2 \cdot 50 \frac{0,05}{500} = 0,01 \text{ мм.}$$

Угол перекоса задней бабки определяется по формуле

$$\sin \varphi = \frac{P}{2l}. \quad (7.5)$$

Для приведенного примера, где $l = 50$ мм,

$$\sin \varphi = \frac{0,01}{100} = 0,0001 \text{ рад; } \varphi \approx 20''.$$

Полная поверка оптических делительных головок производится по ГОСТ 8.046—73.

Автоколлимационные приборы

В последнее время получили довольно широкое распространение автоколлимационные приборы, которые применяются, в частности, при аттестации многогранных призм как оптические фиксаторы и как самостоятельные измерительные приборы.

Типы, обозначения, основные параметры, размеры и нормы точности автоколлиматоров регламентированы ГОСТ 11899—66.

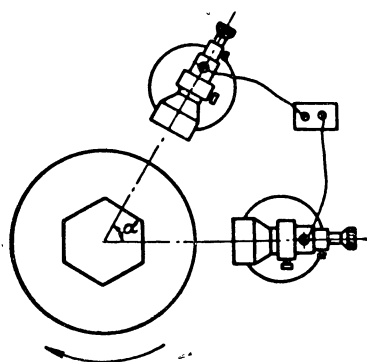


Рис. 7.19

При аттестации многогранных призм используются два автоколлиматора, устанавливаемые на стойках против многогранника, помещенного на поворотном столе. Один из автоколлиматоров является нулевым прибором, второй — отсчетным. Оба автоколлиматора закрепляются на стойках (рис. 7.19) так, чтобы можно было наблюдать отраженные от граней призмы изображения перекрестий (марок).

По первому автоколлиматору устанавливают нуль, а по второму снимают отсчет. Повернув многогранную призму на угол примерно $\frac{360^\circ}{n}$, где n — число граней, необхо-

димо следить за тем, чтобы первый автоколлиматор опять показал нуль. По второму автоколлиматору снимают второй отсчет. Операцию повторяют n раз. Для проверки наводят первый автоколлиматор снова на первую грань и снимают отсчет по второму. Расхождение в показаниях не должно превышать цены деления второго (отсчетного) автоколлиматора.

Отклонение каждого центрального угла $\Delta\alpha_j$ многогранника равно отсчету, снятому по измерительному автоколлиматору для данного угла (по соответствующей грани), p_j минус средний арифметический отсчет

$$\Delta\alpha_j = p_j - \frac{\sum_{i=1}^n p_i}{n}. \quad (7.6)$$

Предельная погрешность описанного метода поверки многогранника с помощью двух автоколлиматоров не превышает величины удвоенной единичной погрешности отсчетного автоколлиматора [1, 2].

Во Всесоюзном научно-исследовательском институте метрологии им. Д. И. Менделеева в 1970 г. создан Государственный первичный эталон единицы плоского угла, основанный на описанном принципе [13].

Эталон состоит из 36-гранной призмы, эталонной угломерной автоколлимационной установки, имеющей фотоэлектрические автоколлиматоры с электронным цифровым отсчетным устройством и устройством для установки и поворота призмы. Цена деления отсчетного устройства автоколлиматоров $0,01''$. Среднее квадратическое отклонение результата определения цены деления не превышает $0,005''$. Электронное цифровое отсчетное устройство позволяет выполнять измерения в пределах от -6 до $+6''$. Погрешность воспроизведения единицы плоского угла не превышает $0,02''$.

Применяемые в производственной практике стеклянные призмы с алюминированными плоскостями граней, а также стальные аттестуются в условиях заводской лаборатории описанным выше способом с применением двух автоколлиматоров, а также с помощью гониометра или теодолита (см. главу седьмую, стр. 598). В качестве автоколлиматоров применяются приборы: АК-0,25 (АКМ-1000) (цена деления $0,25''$); АКТ-400 (цена деления $1''$), АКТ-250 (цена деления $2''$), НА-3 (цена деления $10''$), АК-30 и АКУ (цена деления $30''$), МГА (цена деления точной шкалы $1''$)¹. В настоящее время освоено выпуск фотоэлектрических автоколлиматоров АФ-2 (цена деления $0,1''$).

Применяются также автоколлиматоры собственного изготовления, например переделанные из трубки оптиметра с ценой деления $35-40''$. В этом случае необходимо аттестовать автоколлиматор, т. е. определить его цену деления. Эта операция может быть произведена с помощью синусной линейки (см. стр. 608) или экзаменатора.

Для этого на подвижной планке синусной линейки или экзаменатора закрепляют зеркало. На зеркало наводят аттестуемый автоколлиматор и по нему снимают отсчет. Затем под ролик синусной линейки подкладывают блок концевых мер, а микропару экзаменатора поворачивают до тех пор, пока изображение перекрестия автоколлиматора не сместится в поле зрения на расстояние, достаточно удаленное от первого положения. Цену деления автоколлиматора (в с) подсчитывают

по формуле $\tau = \frac{\varphi}{n}$, где φ — угол поворота верхней планки синусной

линейки или экзаменатора в с; n — число делений автоколлиматора, на которое сместилось его перекрестие при повороте верхней планки.

Автоколлимационный прибор АПУ-2 предназначен для проверки методом сравнения угловых мер 2-го класса по угловым мерам 1-го класса.

Цена деления барабана окулярного микрометра составляет $2''$, предел измеряемой разности углов равен $10'$, погрешность показаний прибора на всем пределе измерения не превышает $\pm 5''$.

Полная поверка прибора АПУ-2 производится по Методическим указаниям № 162 Госкомитета стандартов Совета Министров СССР.

¹ По ГОСТ 11899—66 автоколлиматоры имеют следующие обозначения: АК-0,25 (цена деления $0,25''$); АК-0,5 (цена деления $0,5''$); АК-1 (цена деления $1''$); АК-5 (цена деления $5''$); АК-30 (цена деления $30''$).

3. КОСВЕННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Косвенные измерения углов заключаются в измерении линейных размеров, с помощью которых могут быть вычислены тригонометрические функции углов, а следовательно, и сами углы.

Синусные линейки

Синусные линейки (ГОСТ 4046—71) широко применяются для контрольно-измерительных работ, а также в процессе механической обработки, в частности при шлифовальных работах. Линейки выпускаются трех типов:

- тип I (рис. 7.20, а) без опорной плиты с одним наклоном;
- тип II с опорной плитой с одним наклоном (рис. 7.20, б);
- тип III с двумя опорными плитами с двойным наклоном (рис. 7.20, в).

Угол на синусной линейке определяют по формуле

$$\sin \alpha = \frac{h}{L}, \quad (7.7)$$

где α — угол поворота линейки; h — размер установочного блока концевых мер в мм; L — расстояние между осями роликов линейки в мм.

Пределы допускаемой погрешности линейек 1 и 2-го классов при установке их на углы до 45° даны в табл. 7.5.

Погрешность измерения углов с помощью синусной линейки (в рад) вычисляется по формуле

$$\Delta \alpha = \frac{1}{\cos \alpha L} \Delta h - \frac{\operatorname{tg} \alpha}{L} \Delta L, \quad (7.8)$$

где Δh и ΔL — погрешности размеров h и L .

В соответствии с этой формулой погрешности измерения синусными линейками резко возрастают при измерении углов более 45° , что видно из табл. 7.6 [9].

ТАБЛИЦА 7.6

Погрешности измерения углов
синусными линейками (в угл. с)

Измеряемые углы в град	Погрешности при длинах линейки	
	$L = 100$ мм	$L = 200$ мм
0—15	5	3
30	7	5
45	10	7
60	17	12
80	52	38

ТАБЛИЦА 7.5

Пределы допускаемой погрешности
синусных линейек (в угл. с)

Типы линейек	Допускаемые по- грешности	
	1-й класс	2-й класс
I	± 6	± 10
II	± 8	± 12
III	± 10	± 15

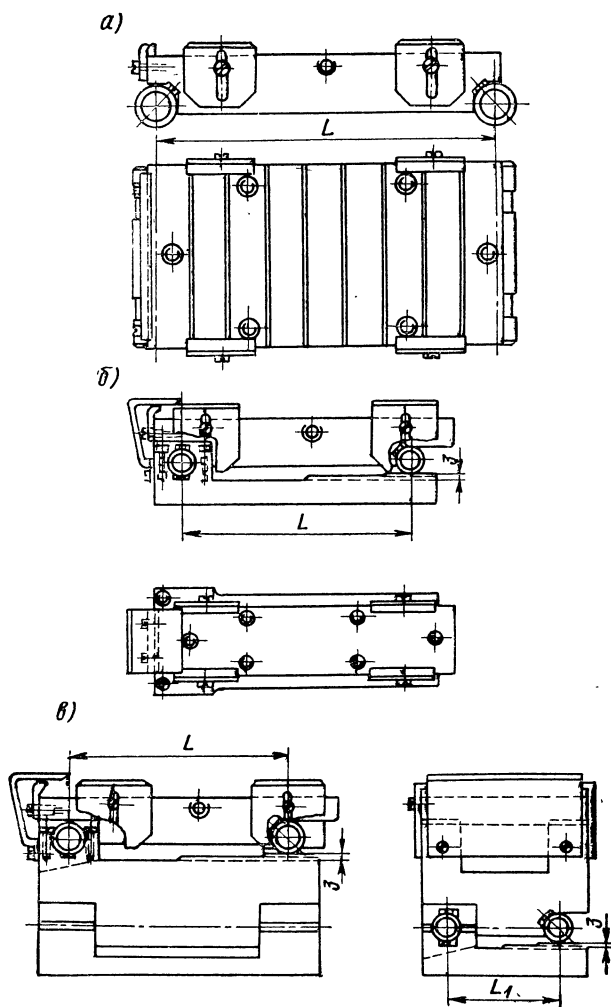


Рис. 7.20

Проверка синусных линеек производится по Инструкции 129—63 Госкомитета стандартов, мер и измерительных приборов СССР.

Автоколлимационная установка АПСЛ предназначена для определения комплексной погрешности синусных линеек. Цена деления синусной шкалы — 1", пределы измерения — 10' [6].

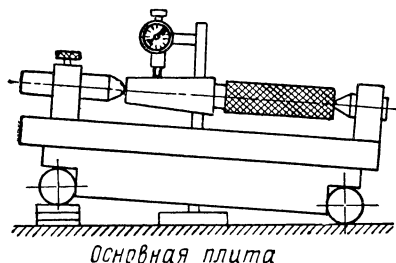


Рис. 7.21

На некоторых заводах применяют для контрольных работ синусные угольники, т. е. угольники, закрепленные на синусных линейках, благодаря чему можно определить угловое отклонение контролируемой детали от угла 90°.

Применяются также специальные синусные линейки с центрами для обработки конусов на шлифовальных станках.

Описанные выше экзаменаторы также являются разновид-

ностью синусной линейки. Ввиду значительного влияния погрешности микрометрической винтовой пары на точность экзаменатора необходимо точно определить величину этой погрешности, например на вертикальном длиннотере ИЗВ-2 или подобном приборе, имеющем величину отсчета 0,001 мм.

На рис. 7.21 показана схема прибора для измерения конусов с применением синусной линейки и точной измерительной головки. Поворот синусной линейки соответствует углу уклона конуса. При этом измерительная головка должна давать одинаковые показания по всей длине образующей конуса.

На рис. 7.22 показана схема измерения на синусной линейке малого диаметра d конуса, которое производится с помощью ролика диаметром d_p , подсчитываемым по формуле

$$d_p = \frac{d_0}{\operatorname{tg} \alpha + \frac{1}{\cos \alpha}}, \quad (7.9)$$

где d_0 — номинальный диаметр измеряемого конуса;
 α — угол уклона.

Разность показаний измерительной головки при положениях, указанных на схеме, равна отклонению действительного диаметра конуса от номинального [12].

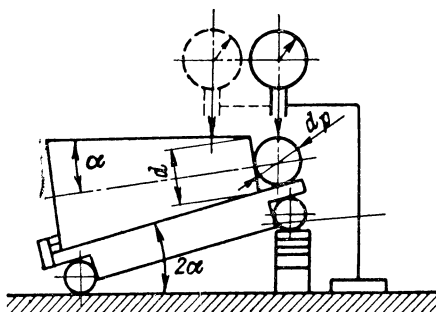


Рис. 7.22

Конусомеры

Для косвенного измерения углов конусов и клиньев применяют приборы и приспособления различных конструкций. На приборе за-

вода «Калибр» две измерительные линейки устанавливаются по двум цилиндрам и блоку концевых мер между ними (рис. 7.23). Величина угла уклона α определяется по формуле

$$\sin \alpha = \frac{D - d}{2l + D + d}, \quad (7.10)$$

где D и d — диаметры цилиндров; l — блок концевых мер.

Схема измерения угла уклона конуса на универсальном измерительном микроскопе с помощью ножей показана на рис. 7.24. Угол уклона α подсчитывается по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{D - d}{2l}, \quad (7.11)$$

где D и d — больший и меньший измеряемые диаметры; l — расстояние между измеряемыми диаметрами.

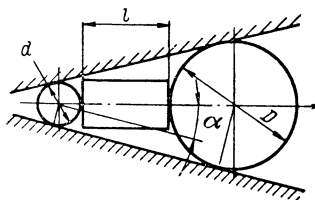


Рис. 7.23

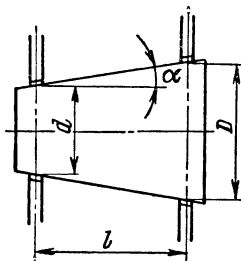


Рис. 7.24

Предельная погрешность измерения $\Delta\alpha$ (в рад) выражается формулой

$$\Delta\alpha = \pm \frac{\cos^2 \alpha}{2l} \left(\Delta D + \Delta d + \frac{D - d}{2l} \Delta l \right), \quad (7.12)$$

где ΔD , Δd , Δl — предельные погрешности измерения размеров D , d , l .

Косвенное измерение внутренних конусов производится с помощью двух шариков разных диаметров (рис. 7.25). Угол подсчитывается по формуле

$$\sin \alpha = \frac{\frac{D}{2} - \frac{d}{2}}{A - a - \left(\frac{D}{2} - \frac{d}{2} \right)}, \quad (7.13)$$

где D и d — диаметры шариков; A и a — расстояния от торца до шариков, измеряемые с помощью компаратора либо глубиномера.

Большой диаметр внутреннего конуса можно измерить с помощью аттестованного шарика (рис. 7.26). Измерив размер H , искомый диаметр D подсчитывают по формуле [12]

$$D = \frac{d}{\cos \alpha} + (d - 2H) \operatorname{tg} \alpha. \quad (7.14)$$

Контроль внутреннего конуса может быть осуществлен с помощью специального пневматического калибра-пробки, в котором имеется два ряда сопел, расположенных на определенном расстоянии. Дифференциальная схема, примененная в данном случае, способствует повышению точности.

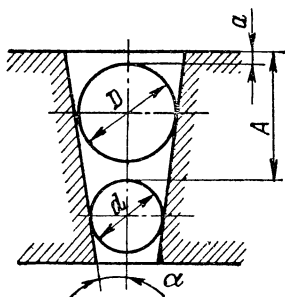


Рис. 7.25

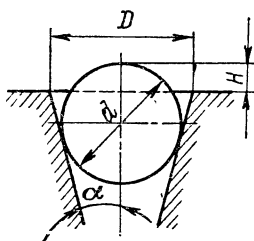


Рис. 7.26

ГОСТ 12070—66 регламентирует типы конусомеров, предназначенных для измерения конусов. Тип I (рис. 7.27, а, б) предназначен для измерения наружных и внутренних конусов с помощью специальной конической меры, основным элементом которой является клиновидная линейка. Угол этой линейки равен углу уклона контролируемого конуса. Центрирующее устройство и базовый упор способствуют правильному положению конической меры во время измерения. Измеряется либо размер M_B (при измерении наружного конуса), либо M_A (при измерении внутреннего конуса). При измерении правильно изготовленного конуса эти размеры по всей его длине будут одинаковы. Величина отклонения, отнесенная к длине конуса, дает $\operatorname{tg} \alpha$ (угла уклона).

Тип II (рис. 7.27, а) предназначен для измерения наружных конусов с помощью специальных принадлежностей. Принцип измерения аналогичен описанному выше методу измерения с использованием цилиндров и концевых мер. Измеряются два размера M_B — наибольший и наименьший и расстояние между ними.

Конусомеры типа I изготавливаются двух классов — 0 и 1 и предназначены для измерения конусов большего диаметра (от 100 до 1600 мм) с конусностью от 1 : 200 до 1 : 3 и длиной конической меры от 100 до 1600 мм. Конусомеры типа II предназначены для измерения конусов с диаметром от 100 до 400 мм с той же конусностью.

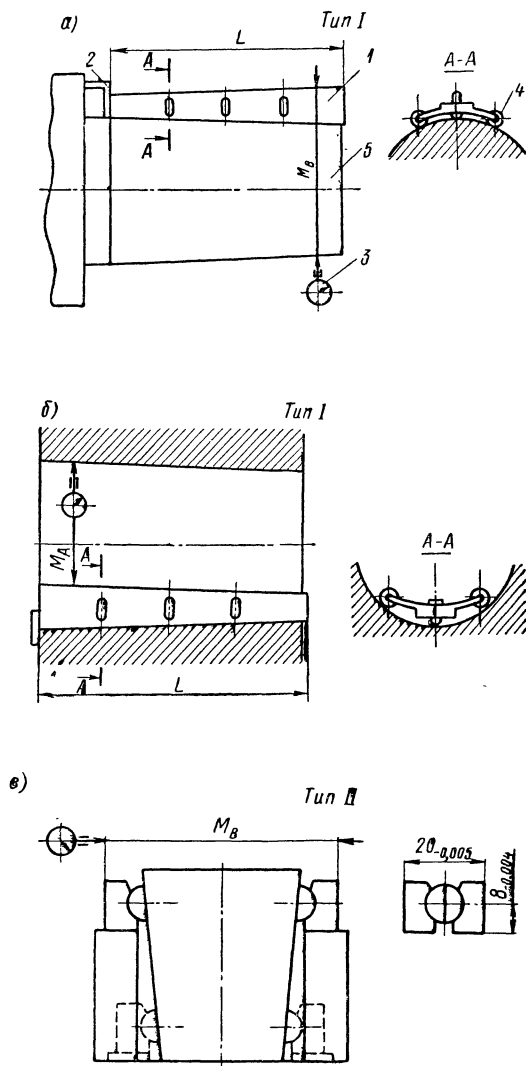


Рис. 7.27

Список литературы

1. Абаджи К. И. Аттестация многогранных призм. — «Измерительная техника», 1957, № 3, с. 71—75.
2. Абаджи К. И. Исследование точности некоторых видов совокупных измерений. Труды НИИТмаша, № 2, 1966, с. 88—96.
3. Абаджи К. И., Дружинин Т. И., Исаев Б. И. Контроль расположения поверхностей деталей машин. Л., Машгиз, 1962, 116 с.
4. Абаджи К. И. и Исаев Б. Т. Новый метод контроля угольников. ЛДНТП, 1956, 16 с.
5. Абаджи К. И. и Пинус Е. А. Новый магнитный уровень. Труды НИИТмаша, № 4, 1967, с. 124—127.
6. Автоколлимационная установка АПСЛ. Каталог Госкомитета стандартов, мер и измерительных приборов СССР. М., Изд-во стандартов, 1964.
7. Бойцов В. В. Нормализованные приспособления для сборки агрегатов самолета. М., Оборонгиз, 1955, 235 с.
8. Зимин Н. И. и Эрвайс А. В. Средства измерения длин и углов в машиностроении. М., НИИмаш, 1971.
9. Справочник контролера машиностроительных заводов. Под ред. А. И. Якушева. М., Машгиз, 1963.
10. Сухарев Л. А. Эталонный клиновой экзаменатор уровней. — В кн.: Новая техника в астрономии. М.—Л., АН СССР, 1963.
11. Технические контрольно-измерительные приборы. Каталог Народного предприятия К. Цейсс, № 24—030, f = 8. Иена, ГДР, 1962, 191 с.
12. Типовые примеры схем измерений размерных параметров деталей машиностроения. ОМТРМ 3382—001—69, 2-е изд., НИИмаш, 1969, 142 с.
13. Шарова Е. Е. Точные измерения углов. М., «Машиностроение», 1970, с. 7—8.

ГЛАВА ВОСЬМАЯ

ИЗМЕРЕНИЕ РЕЗЬБ

1. РЕЗЬБЫ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ

Комплексные измерения

Резьбовые изделия (болты и гайки), а также резьбовые калибры-кольца контролируются преимущественно при помощи рабочих и контрольных калибров (см. главу вторую). Имеется, однако, ряд специальных приборов для комплексных измерений резьбы. Применение таких измерений позволяет увеличить производительность контроля. Для этого чаще всего используются индикаторные приборы, которыми качество контролируемой резьбы оценивается по показаниям отсчетных устройств.

При работе с контрольными и контрольно-сортировочными автоматами, применяемыми в условиях массового производства резьбовых деталей (например, крепежных), используется тот же принцип оценки качества резьбы.

Измерительные элементы приборов и автоматов имеют форму резьбовых гребенок или резьбовых роликов, аналогичных применяемым в регулируемых резьбовых скобах.

Количество и расположение измерительных элементов в автоматах и полуавтоматах различные и зависят от конструкции прибора. Обязательной является связь измерительного элемента (гребенки, ролика и т. п.) с системой, передающей перемещение измерительного элемента на показывающее, сигнальное или исполнительное устройство. В контрольно-сортировочных автоматах исполнительное устройство направляет проконтролированную деталь в соответствующий бокс: годные, брак или по размерным группам (см. главу одиннадцатую). При применении приборов с индикаторными или иными показывающими головками за показаниями приборов должен следить контролер.

На рис. 8.1 показано несложное индикаторное приспособление для контроля наружных резьб 2 и 3-го классов точности. Измерительным элементом является разрезанное резьбовое кольцо полного профиля. Настройка производится по контрольному У-ПР [2].

Светосигнальные настольные приборы ЭПКР и ЭПКР-В также применяются для контроля наружных и внутренних резьб 2 и 3-го классов точности с диаметрами до 40 мм и шагами 0,75 мм и более. Производительность этих приборов (с ручным управлением) — до 1200 шт. резьбовых деталей в час.

На рис. 8.2 показан индикаторный прибор НИАТ, в котором имеется резьбовая пробка соответствующих параметров. Внутри прибора имеется конический стержень, с помощью которого резьбовые вставки со сферическими наконечниками могут раздвигаться до упора

во впадины контролируемой резьбы. Перемещения конического стержня измеряются индикатором. Настройка прибора производится по кольцам [4].

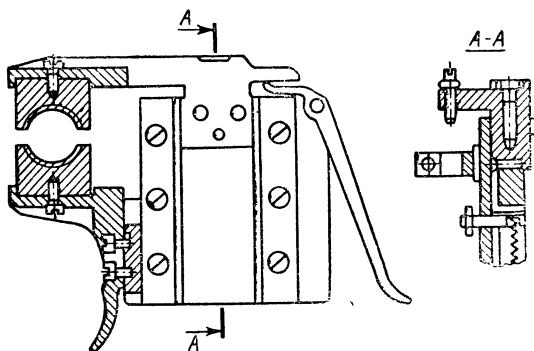


Рис. 8.1

Измерение наружных резьб по элементам

Средний и наружный диаметры. Для измерения среднего диаметра наружной резьбы, например при ремонтных и наладочных работах, применяют микрометр со вставками (рис. 8.3). По ГОСТ 4380—63 микрометры со вставками выпускаются трех типов: МВМ — микрометры со вставками для измерения метрических и дюймовых резьб; МВТ — микрометры для измерения трапецидальных резьб и для измерения фасонных деталей; МВП — микрометры с плоскими вставками для измерения деталей из мягких материалов.

Комплектование микрометров вставками для измерения резьб дано в табл. 8.1.

В эксплуатации на заводах имеются резьбовые микрометры разных конструкций: с регулируемой пяткой или с регулируемым барабаном. При смене пары резьбовых вставок (призматической и конической), предназначенной для определенного диапазона шагов, микрометр устанавливается на нуль.

Для установки на нуль резьбового микрометра с регулируемой пяткой необходимо совместить нулевой штрих барабана с продольным штрихом стебля, а край барабана — с нулевым штрихом стебля и закрепить микровинт стопором. После этого следует отпустить контргайку пятки и, вращая гайку, довести призматическую вставку до упора в коническую вставку. Затем надо закрепить контргайку пятки и, отпустив стопор микровинта, проверить нулевое положение; отклонение допустимо в пределах $\pm 0,01$ мм.

Для установки на нуль микровинта с регулируемым барабаном (завода «Красный инструментальщик») необходимо привести в соприкосновение призматическую и коническую вставки и закрепить микровинт стопором. Отпустив гайку, закрепляющую нижнюю часть барабана, нужно повернуть ее до совпадения нулевой риски барабана с продоль-

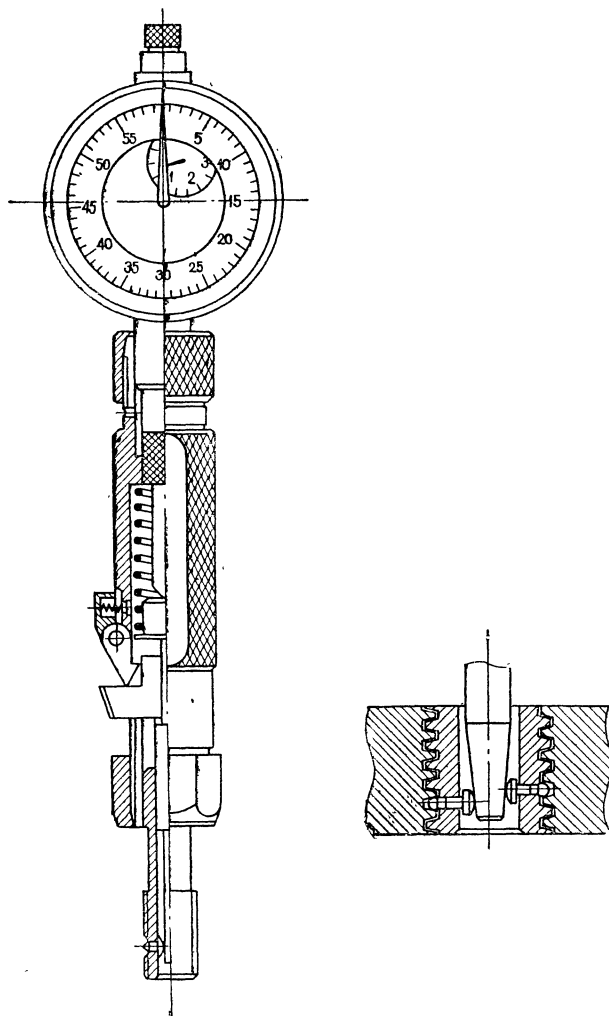


Рис. 8.2

ТАБЛИЦА 8.1

Комплектование резьбовых микрометров

Типы микрометров	Пределы измерений в мм	Наборы резьбовых вставок для пределов шагов измеряемых резьб			
		Для метрических резьб в мм	Количество пар вставок	Для дюймовых резьб в нитках на 1"	Количество пар вставок
МВМ	0—25	0,4—0,45; 0,5—0,6; 0,7—0,8; 1—1,25; 1,5—1,75; 2—2,5; 3—4	7	29—24; 20—16; 14—11; 10—8; 7—5; 4,5—3	6
	25—50	0,7—0,8; 1—1,25; 1,5—1,75; 2—2,5; 3—4; 4,5—6	6		
	50—75 75—100	1—1,25; 1,5—1,75; 2—2,5; 3—4; 4,5—6	5		
	100—125 125—150 150—175	1,5—1,75; 2—2,5; 3—4; 4,5—6	4		
	175—200 200—225	2—2,5; 3—4; 4,5—6	3		
	225—250 250—275 275—300 300—325 325—350	3—4; 4,5—6	2		
Типы микрометров	Пределы измерений в мм	Для трапецеидальных резьб в мм		Количество пар вставок	
МВТ	0—20	2; 3; 4		3	
	20—45	2; 3; 5; 6; 8; 10; 12		7	
	45—70	3; 4; 8; 10; 12		5	
	70—95	4; 5; 10; 12		4	
	95—120	5; 6; 12		3	
	120—145	6		1	
	145—170	6; 8		2	
	170—195	8		1	
	195—220	10		1	
	220—245	12		1	
	245—270				
	270—295				
	295—320				
	320—345				

ным штрихом стебля и края барабана с нулевым делением стебля. Затем закрепить барабан, отпустить стопор микровинта и проверить нулевое положение, отведя и снова подведя микровинт к пятке. Если отклонение больше допустимого ($\pm 0,01$ мм), регулировка производится вновь.

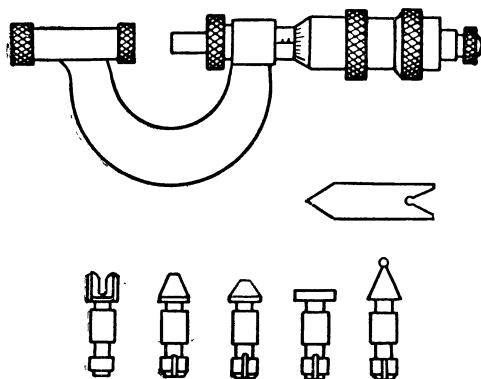


Рис. 8.3

При измерении микрометром среднего диаметра резьбы пользоваться трещоткой или фрикционным устройством нельзя. Поэтому контрольная резьба как бы «проталкивается» с небольшим усилием через резьбовые вставки (рис. 8.4). Если резьба проходит чересчур свободно, надо несколько сблизить вставки и снова повторить «проталкивание». Если же резьба проходит туго или совсем не проходит, надо, наоборот, раздвинуть вставки. После достижения нужного положения снимается отсчет по микрометру.

Погрешности измерения резьбовым микрометром резьб (до М6) составляют 0,04—0,05 мм. Для крупных шагов наибольшие погрешности достигают 0,15 мм, а при измерении с установкой по резьбовому калибру — 0,10 мм [4]. При этом микрометр всегда показывает значение среднего диаметра больше на указанную погрешность.

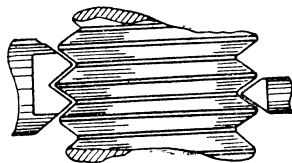


Рис. 8.4

Пригодность резьбового микрометра к работе определяется внешним осмотром вставок и проверкой нулевого положения. Полная поверка резьбового микрометра производится по ГОСТ 8.004—71.

Метод проволочек. Наиболее точным методом измерения среднего диаметра наружной резьбы является метод трех проволочек. Этот метод измерения заключается в том, что во впадины резьбы вкладывают цилиндрические калибры-проволочки (ролики), причем диаметр последних должен быть таким, чтобы касание проволочек (роликов) с профилем резьбы происходило в зоне среднего диаметра.

При таком расположении проволочек во впадинах резьбы наименьшее влияние на искомый результат оказывают погрешности угла профиля и шага резьбы. Наивыгоднейший диаметр проволочки подсчитывают по формуле

$$d_{\text{п}} = \frac{S}{2 \cos \frac{\alpha}{2}}, \quad (8.1)$$

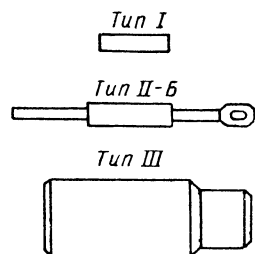


Рис. 8.5

где S — шаг резьбы; $\frac{\alpha}{2}$ — половина угла профиля.

Согласно ГОСТ 2475—62 проволочки и ролики для измерения среднего диаметра резьбы выпускаются трех типов: I — проволочки гладкие; II — проволочки ступенчатые трех исполнений (А, Б и В) и III — ролики (рис. 8.5). Назначение проволочек и роликов для контроля резьбы дано в табл. 8.2.

С помощью универсальных измерительных средств (микрометра, оптиметра, длиномера и т. п.) измеряют размер M (рис. 8.6). После этого определяют средний диаметр резьбы d_2 по формулам табл. 8.3 и 8.4.

При использовании проволочек наивыгоднейшего диаметра (табл. 8.2) средний диаметр можно вычислить по формуле $d_2 = M - A$; значения A приведены в табл. 8.5—8.7.

Погрешность измерения среднего диаметра резьбы методом трех проволочек в значительной мере зависит от погрешностей прибора, измеряющего размер M . Поэтому в соответствии с ГОСТ 12734—67 для точных измерений, например при проверке контрольных и приемных калибров, применяют оптиметры, длиномеры, измерительные машины типа ИЗМ и т. п.

Погрешность измерения, кроме того, зависит от отклонений диаметра проволочки, погрешностей шага и угла профиля резьбы. Поэтому для повышения точности измерения, если применяются не наивыгоднейший диаметр проволочек, следует вводить поправки. Для этого к формулам, приведенным в табл. 8.4, в качестве последнего члена прибавляется суммарная поправка

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5,$$

где C_1 — поправка, учитывающая отклонения угла профиля, C_2 — отклонения шага, C_3 — отклонения диаметров проволочек, C_4 — поправка, учитывающая расположение проволочек под углом к оси резьбы, C_5 — поправка, учитывающая сплющивание проволочек, наконечников и калибров вследствие измерительного усилия.

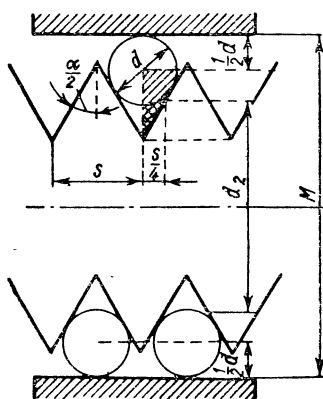


Рис. 8.6

ТАБЛИЦА 8.2
Проводочки и ролики для контроля резьб
(по ГОСТ 12734—67)

Метрическая резьба			Двоймовая резьба			Тrapeцеидальная резьба			Упорная резьба			
Шаг в мм	Тип прово- лочек	Диаметр прово- лочек в мм	Число нитек на 1"	Тип прово- лочек	Диаметр проволочки при угле профиля		Шаг в мм	Тип прово- волоч- ки	Диаметр прово- лочек в мм	Шаг в мм	Тип прово- лочек	Диаметр прово- лочек в мм
					55°	60°						
0,075		0,045	28		0,511	—	2	II-B	1,047	2*	II-B	1,008
0,08		0,048	27		—	0,572	2*		1,302	2		1,157
0,09		0,052	24		0,572	—	3		1,553	3*		1,553
0,1	I	0,058	20	II-A	0,724	—	3*		1,732	3		1,732
0,125		0,073	19		0,724	—	4		2,071	4*		2,020
0,15		0,088	19		0,796	—	4*		2,217	4		2,217
0,175		0,103	18		0,796	0,796	5	II-B	2,505	5*	II-B	2,595
0,2		0,118	16		0,866	—	5*		2,886	5		2,886
0,225		0,130	14		1,008	1,047	6		3,106	6*		3,106
0,25		0,142	12	II-B	1,157	—	6*		3,287	6		3,287
0,3		0,170	11,5		—	1,302	8		4,141	8*		4,091
0,35	I и II-A	0,201	11		1,302	—	8*		4,211	10*		5,176
0,4		0,232	10		1,441	1,441	10		5,176	10		5,493
0,45		0,260	9		1,591	—	12		6,212	12*		6,212
0,5		0,291	8		1,732	1,833	16		8,282	12		6,585
0,6		0,343	7		2,020	—	20		10,353	16*	III	8,282
0,7		0,402	6	II-B	2,311	—	24	III	12,423	16		8,767
0,75		0,433	5		2,886	2,886	32		16,565	20*		10,353
0,8	II-A	0,461	4,5		3,177	—	40		20,706	20		10,950
1,0		0,572	4		3,580	3,666	48		24,287	24*		12,423
1,25		0,724	3,5		4,091	—	24			24		13,133

Продолжение табл. 8.2

Метрическая резьба			Двоймовая резьба			Тrapeцеидальная резьба				Упорная резьба		
Шаг в мм	Тип прово- лоч- ки	Диаметр прово- лоч- ки в мм	Число нитек на 1"	Тип прово- лоч- ки	Диаметр прово- лоч- ки при угле профиля	Шаг в мм		Тип прово- лоч- ки	Диаметр прово- лоч- ки в мм	Шаг в мм	Тип прово- лоч- ки	Диаметр прово- лоч- ки в мм
						55°	60°					
1,5	II-B	0,866	3,25 3	II-B	4,400 4,773	—	—	III		32*	III	16,565
1,75		1,008								32		17,362
2		1,157								40*		20,706
2,5		1,441								40		21,863
3	II-B	1,732		II-B						48*	III	24,287
3,5		2,020										26,231
4		2,311										
4,5		2,595										
5		2,886										
5,5		3,177										
6		3,468										

Примечания:

1. При измерении трапецеидальных резьб, отмеченных звездочкой, а также упорных резьб необходимо учитывать влияние отклонений угла профиля на результат измерения.
2. Проволочки для трапецеидальных резьб, отмеченных звездочкой, предназначены преимущественно для измерения проходных калибров.
3. Проволочки для упорных резьб, отмеченных звездочкой, предназначены для измерения калибров с укороченным профилем.

Формулы для подсчета поправок C_1 , C_2 , C_3 и C_4 приведены в табл. 8.8.

Поправка C_5 заранее подсчитана быть не может, однако ГОСТ 12734—67 содержит эмпирические данные суммы поправок C_4 и C_5 для метрической и дюймовой резьб при измерительном усилии 0,5 Н (50 гс) и 2Н (200 гс), а также значения поправки C_5 для трапецеидальной резьбы при измерительном усилии 2Н (200 гс). Эти поправки могут быть использованы при аналогичных условиях для упорной резьбы.

ТАБЛИЦА 8.3

Общие формулы для подсчета среднего диаметра d_2 , измеряемого методом трех проволок

Типы резьб	Формулы
Метрическая, трубная, дюймовая, трапецеидальная	$d_2 = M - d_{\Pi} \left(1 + \frac{1}{\sin \alpha/2} \right) + \frac{S \operatorname{ctg} \alpha/2}{2}$
Упорная	$d_2 = M - d_{\Pi} \left(1 + \frac{\cos \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2}}{\sin \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}} \right) + S \frac{\cos \alpha_1 \cos \alpha_2}{\sin (\alpha_1 + \alpha_2)}$
<p>Примечание. d_{Π} — номинальное значение диаметра проволоки в мм; S — номинальное значение шага резьбы в мм; α — номинальное значение угла профиля резьбы в градусах; M — результат измерения в мм; α_1 и α_2 — номинальные значения углов наклона сторон профиля упорной резьбы.</p>	

ТАБЛИЦА 8.4

Формулы для подсчета d_2 , измеряемого методом трех проволок

Типы резьб	Формулы
Метрическая и дюймовая (угол 60°)	$d_2 = M - 3d_{\Pi} + 0,866S$
Дюймовая и трубная (угол 55°)	$d_2 = M - 3,1657d_{\Pi} + 0,9605S$
Трапецеидальная (угол 30°)	$d_2 = M - 4,8637d_{\Pi} + 1,866S$
Упорная (углы 30 и 3°)	$d_2 = M - 4,4236d_{\Pi} + 1,5879S$

ТАБЛИЦА 8.5

Величина $A = 3d_{\Pi} - 0,866S$ для подсчета d_2 метрической резьбы

Шаг S в мм	Диаметр d проволочки в мм	Величина A в мм	Шаг S в мм	Диаметр d проволочки в мм	Величина A в мм
0,075	0,045	0,071	0,7	0,402	0,600
0,08	0,048	0,073	0,75	0,433	0,650
0,09	0,052	0,078	0,8	0,461	0,690
0,1	0,058	0,087	1,0	0,572	0,850
0,125	0,073	0,111	1,25	0,724	1,090
0,15	0,088	0,134	1,5	0,866	1,299
0,175	0,103	0,158	1,75	1,008	1,508
0,2	0,118	0,181	2,0	1,157	1,739
0,25	0,142	0,210	2,5	1,441	2,158
0,3	0,170	0,250	3,0	1,732	2,598
0,35	0,201	0,300	3,5	2,020	3,029
0,4	0,232	0,350	4,0	2,311	3,469
0,45	0,260	0,390	4,5	2,595	3,888
0,5	0,291	0,440	5,0	2,886	4,328
0,6	0,343	0,509	5,5	3,177	4,768
			6,0	3,468	5,208

ТАБЛИЦА 8.6

Величина $A = 3,1657d_{\Pi} - 0,9605S$ для подсчета d_2 дюймовой и трубной резьбы (угол профиля 55°)

Число ниток на 1"	Диаметр проволочки в мм	Величина A в мм	Число ниток на 1"	Диаметр проволочки в мм	Величина A в мм
28	0,511	0,846	9	0,591	2,323
24	0,572	0,795	8	1,732	2,433
20	0,724	1,072	7	2,020	2,909
19	0,724	1,008	6	2,311	3,250
19	0,796	1,235	5	2,886	4,257
18	0,796	1,162	4,5	3,177	4,636
16	0,866	1,221	4	3,580	5,234
14	1,008	1,449	3,5	4,091	5,981
12	1,157	1,629	3,25	4,400	6,423
11	1,302	1,904	3	4,773	6,977
10	1,441	2,122			

ТАБЛИЦА 8.7

Величина $A = 3d_{\pi} - 0,866S$ для подсчета d_2 дюймовой резьбы (угол профиля $\alpha = 60^\circ$)

Число нитек на 1"	Диаметр проволочки d_{π} в мм	Величина A в мм	Число нитек на 1"	Диаметр проволочки d_{π} в мм	Величина A в мм
27	0,572	0,902	10	1,441	2,123
18	0,796	1,166	8	1,833	2,749
14	1,047	1,570	5	2,886	4,259
11,5	1,302	1,994	4	3,666	5,499

При измерении методом трех проволочек среднего диаметра резьб с углом подъема более 7° поправку C_4 подсчитывают методом последовательных приближений по формулам

$$X_i = d_2 - \frac{S}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} + d_{\pi} \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + \frac{S n \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}}{\pi} Y_{i-1} -$$

$$- \frac{X_{i-1}}{2} \left(\frac{X_{i-1}}{d_{\pi} \sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right) Y_{i-1}^2 - \frac{X_{i-1}^4}{8 d_{\pi}^3 \sin \frac{\alpha}{2}} Y_{i-1}^4; \quad (8.2)$$

$$Y = \frac{S n d_{\pi} \cos \frac{\alpha}{2}}{\pi X_i^2} \times$$

$$\times \frac{1 - \frac{X_i^2}{2 d_{\pi}^2} Y_{i-1}^2 - \frac{X_i^4}{8 d_{\pi}^4} Y_{i-1}^4}{1 - \frac{d_{\pi}}{X_i} \sin \frac{\alpha}{2} + \left[\left(\frac{1}{6} - \frac{X_i^2}{2 d_{\pi}^2} \right) \frac{d_{\pi} \sin \frac{\alpha}{2}}{X_i} - \frac{2}{3} \right] Y_{i-1}^2}; \quad (8.3)$$

$$C_4 = -(X_n - X_1), \quad (8.4)$$

где X_i и Y_i — результаты соответствующих приближений; X_1 и X_n — результаты первого и последнего приближений.

ТАБЛИЦА 8.8

Поправки C_1 , C_2 , C_3 и C_4

Резьба	Поправка C_1	Поправка C_2
Метрическая	$(0,5d_{\text{п}} - 0,3S) \Delta\alpha$	$0,9 \Delta S$
Дюймовая	$(0,6d_{\text{п}} - 0,35S) \Delta\alpha$	$1,0 \Delta S$
Трапецидальная	$(2,1d_{\text{п}} - 2,2S) \Delta\alpha$	$1,9 \Delta S$
Упорная	$(1,8d_{\text{п}} - S) \Delta\alpha_1 + (1,6d_{\text{п}} - 0,75S) \Delta\alpha_2$	$1,6 \Delta S$
Резьба	Поправка C_3	Поправка C_4 (для углов подтема резьбы до 7°)
Метрическая	$-1,5 \left(\Delta d'_{\text{п}} + \frac{\Delta d''_{\text{п}} + \Delta d'''_{\text{п}}}{2} \right)$	$-\frac{0,07599S^2 n^2 d_{\text{п}}}{(d_2 - 0,866S + 2d_{\text{п}})(d_2 - 0,866S + 1,5d_{\text{п}})}$
Дюймовая	$-1,6 \left(\Delta d'_{\text{п}} + \frac{\Delta d''_{\text{п}} + \Delta d'''_{\text{п}}}{2} \right)$	$-\frac{0,08632S^2 n^2 d_{\text{п}}}{(d_2 - 0,9605S + 2,1657d_{\text{п}})(d_2 - 0,9605S + 1,7040d_{\text{п}})}$
Трапецидальная	$-2,4 \left(\Delta d'_{\text{п}} + \frac{\Delta d''_{\text{п}} + \Delta d'''_{\text{п}}}{2} \right)$	$-\frac{0,1826S^2 n^2 d_{\text{п}}}{(d_2 - 1,866S + 3,6049d_{\text{п}})(d_2 - 1,866S + 3,8637d_{\text{п}})}$
Упорная	$-2,2 \left(\Delta d'_{\text{п}} + \frac{\Delta d''_{\text{п}} + \Delta d'''_{\text{п}}}{2} \right)$	$-\frac{0,1411S^2 n^2 d_{\text{п}}}{(d_2 - 1,5879S + 3,4236d_{\text{п}})(d_2 - 1,5879S + 3,147d_{\text{п}})}$

П р и м е ч а н и я:

1. В формулах для подсчета поправки C_1 значения $d'_{\text{п}}$ и S даны в мм, $\Delta\alpha$ — в мин, результат — в мкм.2. $\Delta d'_{\text{п}}$, $\Delta d''_{\text{п}}$, $\Delta d'''_{\text{п}}$ — действительные отклонения первой, второй и третьей проволошек в мкм.3. n — число заходов резьбы.

Первое приближение X_1 и Y_1 вычисляют по формулам

$$X_1 = d_2 - \frac{S}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} + d_n \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}}; \quad (8.5)$$

$$Y_1 = \frac{S n d_n \cos \frac{\alpha}{2}}{\pi X_i^2}. \quad (8.6)$$

При втором приближении в формулы (8.2) и (8.3) подставляют значения, полученные по формулам (8.5) и (8.6). Последующие вычисления производят до тех пор, пока результаты двух последних приближений (X_i и X_{i-1}) не окажутся равными друг другу (до третьего знака после запятой).

Предельные погрешности измерения среднего диаметра резьбы методом трех проволок с помощью некоторых, наиболее применяемых средств измерений приведены в табл. 8.9.

Средний диаметр наружных резьб большого диаметра (более 100 мм), а также при малом количестве витков измеряют иногда методом двух проволок. При этом размер P (рис. 8.7) также находят при помощи универсальных измерительных приборов. Размер среднего диаметра подсчитывается по формулам

$$d_2 = P - \frac{S^2}{8(P - d_n)} - d_n \left(1 + \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right) + \frac{S \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}}{2} \quad (8.7)$$

для метрической, дюймовой, трубной и трапецидальной резьб;

ТАБЛИЦА 8.9

Погрешности измерения среднего диаметра методом трех проволок [4]

Средства измерения	Пределы измерения в мм	Погрешности (\pm) в мкм для интервалов диаметров в мм		
		1—18	18—50	50—100
Оптиметр горизонтальный (измерительная машина). Концевые меры 4-го разряда. Проволочки класса 0	1—100	1,4	1,4	1,5
Оптиметр горизонтальный. Концевые меры 5-го разряда. Проволочки 1-го класса	1—100	2,6	2,7	2,8
Оптиметр вертикальный. Концевые меры 4-го разряда. Проволочки класса 0	1—100	1,6	1,7	1,8
Оптиметр вертикальный. Концевые меры 5-го разряда. Проволочки 1-го класса	1—100	3,0	3,1	3,2
Микрометр рычажный. Проволочки 1-го класса	1—50	7	7	—
Микрометр класса 0. Проволочки 1-го класса	1—600	От 8 до 25 в зависимости от диаметра От 11 до 30 в зависимости от диаметра		
Микрометр 1-го класса. Проволочки 1-го класса	1—600			

$$d_2 = P - \frac{S^2}{8(P - d_n)} - d_n \left(1 + \frac{\cos \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2}}{\sin \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}} \right) + S \frac{\cos \alpha_1 \cos \alpha_2}{\sin (\alpha_1 + \alpha_2)} \quad (8.8)$$

для упорной резьбы.

Как и при измерении методом трех проволок, для повышения точности измерения методом двух проволок следует вводить по-

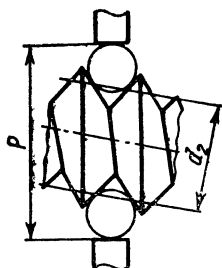


Рис. 8.7

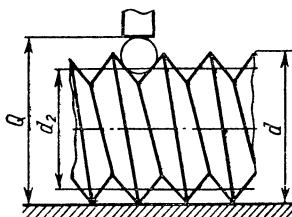


Рис. 8.8

правки, если применяется не наивыгоднейший диаметр проволок. К формулам, приведенным в табл. 8.10, необходимо для этого в качестве последнего члена прибавлять суммарную поправку S . Значения составляющих суммарной поправки, кроме поправки S_3 , определяются также по формулам табл. 8.8. Поправка S_3 определяется по формуле

$$S_3 = -K (\Delta d'_n + \Delta d''_n), \quad (8.9)$$

где K — коэффициент, равный 1,5 — для метрической резьбы, 1,6 — для дюймовой и трубной, 2,4 — для трапецидальной, 2,2 — для упорной; $\Delta d'_n$ и $\Delta d''_n$ — действительные отклонения диаметров проволок.

Иногда, например при нарезании многозаходных резьб, измеряют средний диаметр методом одной проволоки (рис. 8.8).

Размер Q определяют при помощи универсальных измерительных приборов, причем для исключения влияния овальности и эксцентриситета наружного и среднего диаметров на результат измерения размер Q определяют дважды по двум взаимно перпендикулярным осевым сечениям. Наружный диаметр резьбы d измеряют с точностью не ниже точности измерения размера Q .

Формулы для подсчета среднего диаметра методом одной проволоки приведены в табл. 8.11.

При применении не наивыгоднейшего диаметра проволоки для повышения точности измерения к формулам, приведенным в табл. 8.11, необходимо прибавлять суммарную поправку S , составляющие кото-

ТАБЛИЦА 8.10

Формулы для подсчета d_2 , измеряемого методом двух проволочек

Типы резьб	Формулы
Метрическая (угол 60°)	$d_2 = P - \frac{S^2}{8(P - d_n)} - 3d_n + 0,866S$
Дюймовая и трубная (угол 55°)	$d_2 = P - \frac{S^2}{8(P - d_n)} - 3,1657d_n + 0,9605S$
Трапецидальная (угол 30°)	$d_2 = P - \frac{S^2}{8(P - d_n)} - 4,8637d_n + 1,866S$
Упорная (углы 30 и 3°)	$d_2 = P - \frac{S^2}{8(P - d_n)} - 4,4236d_n + 1,5879S$

ТАБЛИЦА 8.11

Формулы для подсчета d_2 , измеряемого методом одной проволочки

Типы резьб	Формулы
Метрическая (угол 60°)	$d_2 = 2Q - d - 3d_n + 0,866S$
Дюймовая и трубная (угол 55°)	$d_2 = 2Q - d - 3,1657d_n + 0,9605S$
Трапецидальная (угол 30°)	$d_2 = 2Q - d - 4,8637d_n + 1,866S$
Упорная (углы 30 и 3°)	$d_2 = 2Q - d - 4,4236d_n + 1,5879S$

рой, кроме поправки C_3 , подсчитываются по формулам табл. 8.8. Поправка C_3 определяется по формуле

$$C_3 = -K \Delta d_n, \quad (8.10)$$

где K — коэффициент, имеющий те же значения, что и в формуле (8.9); Δd_n — действительное отклонение диаметра проволочки.

Пригодность проволочек к работе определяется по их внешнему виду (они не должны иметь погнутостей, забоин, царапин, ржавчины и других дефектов). Полная проверка проволочек производится согласно Инструкции 127—63 Госстандарта СССР.

При измерении среднего диаметра резьбы на микроскопе (универсальном или инструментальном) измеряемый объект устанавли-

ливают на центрах, а последние — по установочному валику в положение, параллельное продольному ходу микроскопа. При измерении теньевым способом размер диафрагмы осветителя универсального микроскопа определяется по табл. 8.12 [4]. Колонку микроскопа наклоняют на угол поддема резьбы, который определяют по формуле

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{S}{\pi d_2}. \quad (8.11)$$

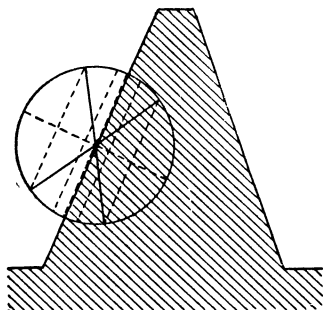


Рис. 8.9

Центральная штриховая линия окулярной сетки (рис. 8.9) накладывается на изображение боковой стороны резьбы так, чтобы перекрестие было примерно в середине высоты профиля. После отсчета по шкале поперечного хода микроскопа столик микроскопа (или колонку) перемещают в поперечном направлении так, чтобы та же линия окулярной сетки

наложилась на диаметрально противоположную сторону профиля резьбы. При этом не должно быть продольного перемещения столика микроскопа. Второй отсчет делают также по шкале поперечного хода. Разность обоих отсчетов равна величине среднего диаметра

ТАБЛИЦА 8.12

Рекомендуемые диаметры диафрагмы в мм (для универсального измерительного микроскопа)

Средний диаметр резьбы в мм	Диаметры диафрагмы для резьб с углом профиля			Средний диаметр резьбы в мм	Диаметры диафрагмы для резьб с углом профиля		
	30°	55°	60°		30°	55°	60°
0,5	25,2	30,6	31,5	18	7,6	9,3	9,5
1	20,0	24,3	25,0	20	7,4	8,6	9,2
2	15,9	19,3	19,8	25	6,8	8,2	8,6
3	13,9	16,8	17,3	30	6,4	7,8	8,1
4	12,7	15,3	15,7	40	5,8	7,2	7,3
5	11,7	14,2	14,6	50	5,4	6,6	6,8
6	11,0	13,4	13,7	60	5,1	6,2	6,3
8	10,1	12,2	12,5	70	4,8	5,9	6,0
10	9,3	11,3	11,6	80	4,6	5,7	5,8
12	8,8	10,7	10,9	90	4,4	5,4	5,6
14	8,3	10,1	10,3	100	4,2	5,2	5,4
16	7,9	9,6	9,8	150	3,8	4,6	4,7
				200	3,4	4,1	4,2

Для исключения влияния перекоса резьбы относительно оси измерений производится второе измерение по второй стороне профиля резьбы аналогичным образом. Среднее арифметическое из полученных значений дает размер среднего диаметра без погрешности перекоса. При этом между первым и вторым измерениями измеряемый объект нельзя поворачивать на центрах.

При измерении среднего диаметра с помощью ножей (ГОСТ 7013—67) диафрагма универсального микроскопа открывается полностью, а на объектив надевается специальная насадка с полупрозрачной пластинкой. На каретке устанавливаются приспособления для крепления ножей. Ножи лезвиями подводятся вплотную (без просвета) к двум параллельным диаметрально противоположным сторонам

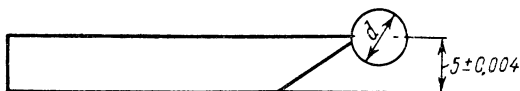


Рис. 8.10

профиля резьбы. На риску одного ножа наводится одна из штриховых линий окулярной сетки в зависимости от того, на каком расстоянии от лезвия находится риска ножа: 0,3 или 0,9 мм. Делается отсчет по шкале поперечного хода микроскопа. Колонка микроскопа передвигается так, чтобы окулярная сетка совпала с риской второго ножа, приложенного к профилю резьбы. При этом не должно быть продольного перемещения каретки микроскопа. Второй отсчет делается также по шкале поперечного хода; разность обоих отсчетов составит величину среднего диаметра. Затем производится второе измерение по другой стороне профиля с использованием второй пары ножей.

Действительный размер среднего диаметра по полученным значениям $d_{2\text{прав}}$ и $d_{2\text{лев}}$ определяют как среднее арифметическое с введением поправки E , учитывающей действительные расстояния от лезвия измерительного ножа до оси штриха,

$$E = \frac{1}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} (\Delta l_1 + \Delta l_2 + \Delta l_3 + \Delta l_4), \quad (8.12)$$

где $\Delta l_1, \Delta l_2, \Delta l_3, \Delta l_4$ — действительные отклонения расстояний от лезвия до штриха (вследствие износа ножа) для всех ножей, применяемых при измерении; α — номинальное значение угла профиля.

При измерении среднего диаметра трапецидальных и упорных резьб применяют специальные ножи с шариковыми наконечниками (рис. 8.10). Диаметр шарика должен быть близок по размеру соответствующей проволочке (ролику) и аттестуется с необходимой точностью. Диафрагма микроскопа должна быть установлена так, чтобы диаметр шарикового наконечника, измеренный на микроскопе теневым способом, отличался от его действительного размера не более чем на 1 мкм. С помощью этих специальных наконечников измеряется размер N (рис. 8.11). Для исключения влияния перекоса

ТАБЛИЦА 8.13

Формулы для подсчета d_2 , измеряемого с помощью ножей с шариковыми наконечниками

Типы резьб	Формулы
Трапецидальная (угол 30°)	$d_2 = N - 2,8637d_{ш} + 1,866S$
Упорная (углы 30° и 3°)	$d_2 = N - 2,4236d_{ш} + 1,5879S$
Примечание. $d_{ш}$ — номинальное значение диаметра шарика.	

оси резьбы на результат измерения размер N определяют дважды с перестановкой одного из ножей в соседнюю впадину. Размер среднего диаметра резьбы подсчитывается по формулам, приведенным в табл. 8.13.

Суммарную поправку S , которую необходимо прибавлять к формулам табл. 8.13, подсчитывают по формулам табл. 8.8., кроме S_3 , которая определяется по формуле

$$S_3 = -K(\Delta d'_{ш} + \Delta d''_{ш}), \quad (8.13)$$

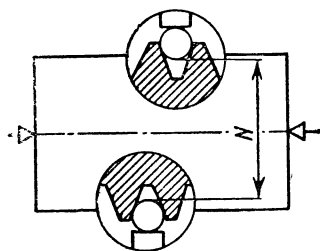


Рис. 8.11

где K — коэффициент, равный 1,4, — для трапецидальной и 1,2 — для упорной резьбы; $\Delta d'_{ш}$ и $\Delta d''_{ш}$ — действительные отклонения диаметров шариков.

Для измерения наружного диаметра резьбы используют универсальные измерительные приборы. При относительных измерениях калибров-пробок применяют концевые меры 5-го разряда и плоские наконечники типа НГП-8 или НГП-15 1-го класса по ГОСТ 11007—66.

Элементы профиля резьбы. Шаг наружной резьбы может быть измерен на микроскопах (универсальном и инструментальном) теньвым способом, с помощью ножей, шариковых наконечников и контактного приспособления.

При измерении шага теньвым способом колонку микроскопа наклоняют на угол подъема резьбы и диафрагму осветителя устанавливают согласно данным табл. 8.12. Центральную штриховую линию окулярной сетки совмещают с боковой стороной профиля резьбы так, чтобы перекрестие было примерно в середине высоты профиля. После отсчета по шкале продольного хода перемещают каретку микроскопа в продольном направлении так, чтобы та же линия окулярной сетки совместилась с боковой стороной профиля соседнего (или любого другого) витка резьбы. Снимают второй отсчет

по шкале продольного хода. Разность обоих отсчетов даст величину шага резьбы соответственно измеренному числу витков.

Для исключения влияния перекоса резьбы относительно оси измерения вторично измеряют величину шага по вторым сторонам профиля резьбы аналогичным образом. Среднее арифметическое из полученных значений соответствует величине шага без погрешности перекоса.

При контроле резьбовых калибров с номинальными диаметрами менее 3 мм шаг измеряется с двух сторон: со стороны, обращенной к наблюдателю, и с противоположной стороны калибра. За размер шага принимается среднее арифметическое из четырех измерений. Этим исключается погрешность от перекоса резьбы и в вертикальной плоскости, причем эта погрешность значительна только для малых диаметров.

При измерении шага с помощью ножей подготовка остается такой же, что и для измерения среднего диаметра.

При измерении шага по одноименным сторонам профиля нож подводится вплотную (без просвета) поочередно к двум виткам резьбы, между которыми производится измерение шага. С риской ножа совмещается соответствующая штриховая линия окулярной сетки. Отсчеты снимаются по микроскопу продольного хода.

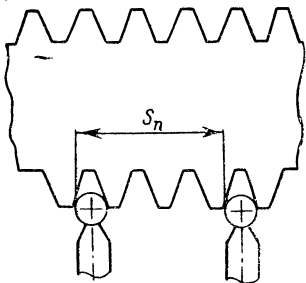


Рис. 8.12

Для исключения влияния перекоса резьбы относительно оси измерения производится второе измерение по вторым сторонам профиля и берется среднее арифметическое двух результатов. Для малых диаметров делают четыре измерения (см. выше).

Измерение шага трапецеидальных и упорных наружных резьб на микроскопе производят также с помощью специальных ножей с шариковыми наконечниками и рисками. Диаметр шарика выбирается таким, чтобы при установке во впадины резьбы шарик касался ее профиля, но центр его находился вне впадины (рис. 8.12). При измерении центральную штриховую линию окулярной сетки накладывают на риску ножа, который поворачивают, если нужно, в плоскости стола микроскопа. Отсчеты снимаются по продольной шкале прибора.

При определении шага резьбы путем измерения доли шага необходимо вместе с контактным приспособлением применять измерительные бабки ИБ-21 и ИБ-24 (см. главу четвертую, стр. 532). В этом случае деталь с резьбой прикрепляется при помощи хомутка и поводка к шпинделю бабки. Измерив продольное перемещение наконечника при повороте детали на определенный угол, легко подсчитать величину полного шага по формуле

$$S = \frac{l360}{\omega}, \quad (8.14)$$

где S — искомый шаг в мм; l — измеренная величина доли шага в мм; ω — угол поворота детали при измерении в град.

При измерении многозаходных резьб возникает необходимость проверить правильность деления по заходам. Для этого измеряются шаги между соседними витками (заходами). Количество таких измерений должно быть не меньше числа заходов. Результаты измерений сравниваются между собой.

При измерении шага ходовых винтов иногда возникает необходимость проверки шага винта совместно с гайкой. Для этого ходовой винт с гайкой закрепляется в центрах универсального микроскопа. Поводок измерительной бабки микроскопа, установленной вместо левой центральной бабки, скрепляется с хомутиком, за-

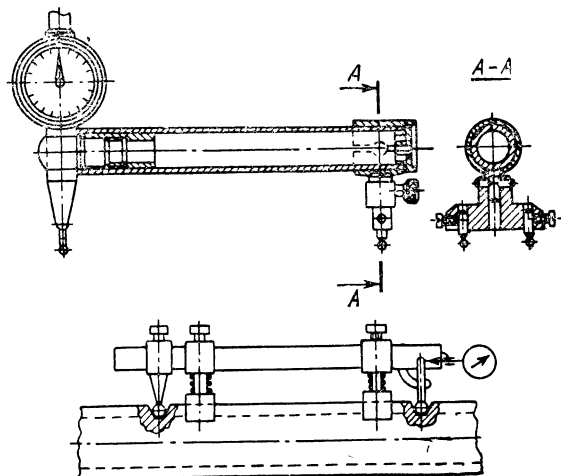


Рис. 8.13

крепленным на ходовом винте, а гайка ходового винта фиксируется с целью устранения возможного ее поворота. Ходовой винт поворачивается на угол, величина которого задается по измерительной бабке. Гайка при этом переместится вдоль винта на величину, которая измеряется визирным или контактным методом. Разность между измеренной величиной перемещения гайки и рассчитанной теоретически дает суммарную погрешность шага винтовой пары на данном угле поворота.

Измерение шага резьбы на изделиях, которые не могут быть установлены на микроскопах, может быть произведено с помощью специальных приборов-шагомеров (рис. 8.13). Шагомеры устанавливаются на нуль по специальным установочным приспособлениям. Необходимо, чтобы при измерении все три ножки шагомера вошли во впадины резьбы. По шкале прибора отсчитывают отклонение измеряемого шага от заданной величины.

Специальный накладной шагомер ОКБ-1263, разработанный в ОКБ Министерства станкостроительной и инструментальной промышленности, позволяет вести непрерывное измерение шага ходовых винтов с записью результатов. Шагомер базируется по наружному диаметру винта, а его ножевые наконечники входят во впадины резьбы.

В шагомере использован пневмопреобразователь. Погрешность прибора $\pm 0,0007$ мм [1].

Номинальный шаг резьбы (или число ниток на дюйм) определяется с помощью резьбовых шаблонов (резьбомеров). В соответствии с ГОСТ 519—66 резьбовые шаблоны выпускаются наборами для метрической резьбы с шагом от 0,4 до 6 мм включительно и для дюймовой резьбы с числом ниток на дюйм от 28 до 4 включительно.

При наложении резьбомера на профиль резьбы (рис. 8.14) следует использовать возможно большую ее длину, так как это повышает точность определения.

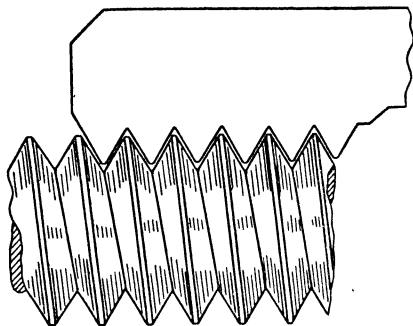


Рис. 8.14

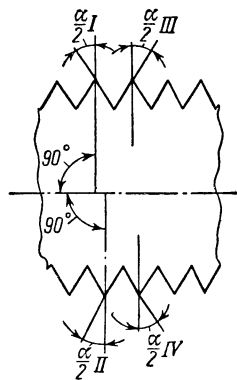


Рис. 8.15

Угол профиля наружной резьбы может быть измерен на микроскопах тeneвым способом и с помощью ножей. Обычно угол профиля измеряется одновременно со средним диаметром или шагом.

При измерении половины угла профиля тeneвым способом центральную штриховую линию окулярной сетки микроскопа совмещают поочередно со сторонами профиля резьбы, а при измерении с помощью ножей — с риской ножа. Отсчеты снимают по угломерной шкале окулярной головки.

Половину угла профиля калибров диаметром менее 3 мм измеряют в одном осевом сечении с двух сторон (рис. 8.15). Действительные значения половин угла профиля резьбы подсчитываются по формулам

$$\frac{\alpha}{2} \text{ прав} = \frac{\frac{\alpha}{2} III + \frac{\alpha}{2} IV}{2}; \quad (8.15)$$

$$\frac{\alpha}{2} \text{ лев} = \frac{\frac{\alpha}{2} I + \frac{\alpha}{2} II}{2}, \quad (8.16)$$

где $\frac{\alpha}{2} I$, $\frac{\alpha}{2} II$, $\frac{\alpha}{2} III$ и $\frac{\alpha}{2} IV$ — значения половины угла, полученные при измерениях.

Погрешность половины угла $\left(\delta \frac{\alpha}{2}\right)$ определяют как среднее арифметическое абсолютных значений отклонений обеих половин угла профиля от номинального

$$\delta \frac{\alpha}{2} = \frac{\left(\frac{\alpha}{2} \text{ ном} - \frac{\alpha}{2} \text{ прав}\right) + \left(\frac{\alpha}{2} \text{ ном} - \frac{\alpha}{2} \text{ лев}\right)}{2}, \quad (8.17)$$

где $\frac{\alpha}{2} \text{ ном}$ — номинальное значение угла профиля.

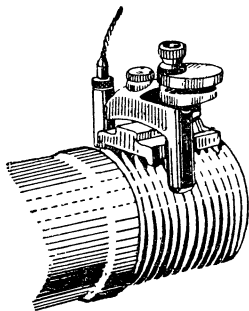


Рис. 8.16

Иногда при больших углах подъема резьбы прибегают к наклону изделия относительно оси центров (или продольного хода) микроскопа. Следует помнить, что при этом рассматривается профиль в нормальном сечении резьбы.

Наклон колонки микроскопа дает довольно значительное искажение угла профиля в сторону уменьшения. Например, наклон колонки на 6° при измерении метрической резьбы ($\alpha = 60^\circ$) вызывает погрешность измерения половины угла $\delta \frac{\alpha}{2} = -12'$, а наклон колонки на 12° при измерении трапецидальной резьбы ($\alpha = 30^\circ$) дает погрешность измерения половины угла профиля $\delta \frac{\alpha}{2} = -40'$ [4].

Вследствие этого результат измерения половины угла профиля резьбы теньвым способом необходимо пересчитывать по формуле

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{\operatorname{tg} \frac{\alpha'}{2}}{\cos \varphi}, \quad (8.18)$$

где $\frac{\alpha}{2}$ — искомая половина угла профиля; $\frac{\alpha'}{2}$ — измеренная величина половины угла профиля; φ — угол подъема резьбы (угол наклона колонки микроскопа).

Для контроля угла профиля резьбы на крупных объектах, а также для контроля установки резьбового резца применяются токарно-резьбовые микроскопы, так называемые токарные лупы (рис. 8.16). Токарную лупу устанавливают в центрах станка или непосредственно на наружном диаметре контролируемой резьбы или заготовки. Контур угла профиля резьбы или контур резца сравнивают со штриховым углом лупы, соответственно с чем корректируют угол профиля нарезаемой резьбы или исправляют установку резца.

Токарные лупы применяются также на резьбо-шлифовальных станках для контроля угла профиля шлифовального круга при его правке.

Внутренний диаметр наружной резьбы. Внутренний диаметр измеряется на микроскопах теневым способом. Штриховую линию окулярной сетки накладывают на впадины резьбы, а у калибров-пробок на точки, в которых начинается закругление впадины, или на линию, ограничивающую углубление внутреннего диаметра (рис. 8.17). Отсчеты снимают по микроскопу поперечного хода.

В цеховых условиях внутренний диаметр наружной цилиндрической резьбы может быть измерен с помощью резьбового микрометра, снабженного двумя коническими вставками (с углом конуса, меньшим угла профиля резьбы) с острыми концами. Величина искомого диаметра подсчитывается по формуле

$$d_{\text{вн}} = \sqrt{a^2 - \frac{S^2}{4}}, \quad (8.19)$$

где a — размер, полученный на микрометре; S — номинальный шаг резьбы в мм.

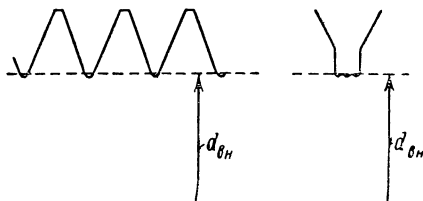


Рис. 8.17

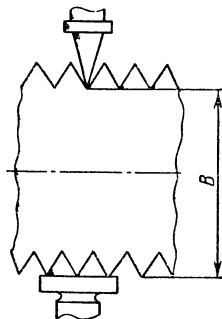


Рис. 8.18

Внутренний диаметр можно измерить также с помощью резьбового микрометра с конической и плоской вставками. Сначала измеряется наружный диаметр при помощи плоских вставок, вставленных в микрометр. Затем вместо плоской вставки в шпиндель микрометра вставляется коническая (с углом конуса, меньшим угла профиля резьбы.) Микрометр устанавливается на нуль или проверяется отсчет при сомкнутых вставках. После этого измеряется размер B (рис. 8.18).

Внутренний диаметр подсчитывается по формуле

$$d_{\text{вн}} = 2B - d, \quad (8.20)$$

где d — наружный диаметр резьбы [4].

В табл. 8.14 приведены погрешности измерения элементов наружной резьбы различными методами и средствами.

Измерение внутренних резьб

Наиболее распространенный метод измерения (контроля) внутренней резьбы — комплексный метод, заключающийся в свинчивании с калибром или контркалибром (см. главу вторую). В отдельных случаях (например, для лабораторных исследований) измеряются элементы внутренней резьбы.

Средний диаметр внутренней резьбы, св. 18 мм, измеряется на горизонтальном оптиметре (см. главу вторую) с помощью специального приспособления, состоящего из круглого столика, специальных

ТАБЛИЦА 8.14

Погрешности измерения элементов наружной резьбы различными методами [4]

Проверяемые элементы	Средства и методы измерения	Пределы измерения в мм	Объекты измерения	Погрешности измерения \pm для интервалов диаметров		
				1—18	18—50	50—100
Средний диаметр	Универсальный микроскоп с ножами	1—100	Калибры	мкм 2,5 3,5 4,5		
	Микрометр резьбовой:					
	абсолютным методом	1—350	Изделия	150		
	с установкой по резьбовому образцу	1—350	»	100		
	Инструментальный микроскоп с ножами	1—25	»	6		
Шаг	Универсальный микроскоп:			мкм		
	с ножами	1—100	Калибры	1,5	2,5	3,0
	без ножей	1—100	»	2	3	3,5
	Инструментальный микроскоп:					
	с ножами по концевым мерам 5-го разряда	1—50	»	2,5	3,5	—
	без ножей по концевым мерам 5-го разряда	1—50	Калибры	3	4	
	Инструментальный микроскоп:					
	с ножами	1—50	Изделия	5		
	без ножей	1—75	»	8		
	Шагомер с ценой деления 0,002 мм:					
	с установкой по раздвижному образцу	До 60	Нарезанные изделия Шлифованные изделия	15 10		
	с установкой по жесткому образцу	» 60	Нарезанные изделия Шлифованные изделия	10 5		

Продолжение табл. 8.14

Проверяемые элементы	Средства и методы измерения	Пределы измерения в мм	Объекты измерения	Погрешности измерения \pm для интервалов диаметров		
				1—18	18—50	50—100
Половина угла профиля	Универсальный микроскоп:			минуты		
	с ножами	1—100	Калибры	$\left(2 + \frac{3}{S}\right)$		
	без ножей:					
	$S < 0,5$ мм	1—100	»	$\left(3 + \frac{7}{S}\right)$		
	$S \geq 0,5$ мм	1—100	»	$\left(3 + \frac{4}{S}\right)$		
	Инструментальный микроскоп:					
	с ножами	1—50	Калибры и изделия	$\left(2 + \frac{3}{S}\right)$		
	без ножей:					
Внутренний диаметр	Универсальный микроскоп	1—100	Калибры	мкм		
				4		
	Инструментальный микроскоп;	1—50	»	6		
	при непосредственном измерении	1—25	Изделия	10		
	при измерении от наружного диаметра	1—50	»	10		

боковичков, набора шариковых измерительных наконечников и державки для сборки установочного блока.

Боковички (рис. 8.19) имеют вырезы с тем же углом, что и контролируемая резьба. Боковички имеют доведенные плоскости 1 и 2, благодаря чему к ним могут быть притерты концевые меры. При помощи боковичков и концевых мер длины в державке собирается установочный блок. Величина его подсчитывается по формуле

$$l = d_2 + t - (a + b), \quad (8.21)$$

где l — размер блока концевых мер; d_2 — теоретический средний диаметр резьбы; t — теоретическая высота резьбы (рис. 8.20); a и b — постоянные для данных боковичков (рис. 8.19).

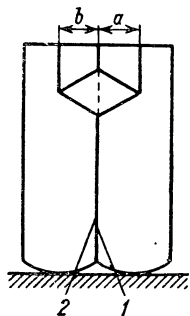


Рис. 8.19

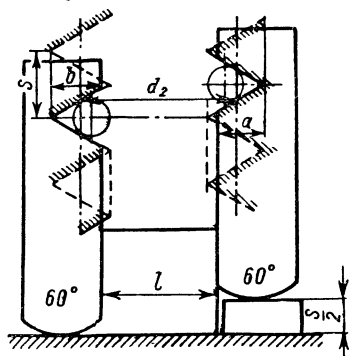


Рис. 8.20

Под один из боковичков подкладывается блок концевых мер размером $\frac{S}{2}$. По собранному блоку оптиметр устанавливается на нуль,

причем на оптиметр надеваются скобы с шариковыми измерительными наконечниками в соответствии с шагом резьбы. Измеряемая резьба устанавливается на круглом столике вместо установочного блока; во впадины резьбы вводятся шариковые измерительные наконечники и по оптиметру получают отклонение среднего диаметра резьбы от теоретического.

Измерение среднего диаметра, шага и угла внутренней резьбы калибров-колец с шагом от 0,25 до 2 мм и средним диаметром от 18 до 98 мм может быть произведено с помощью приспособления ИЗК-59 к универсальному микроскопу УИМ-21. Оптическая схема приспособления основана на схеме двойного микроскопа акад. В. П. Линника, так как в основе ее лежит использование щелевого У-образного отверстия. Световой пучок, проходя через щель, осуществляет так называемое световое сечение резьбового профиля, и его изображение попадает в окуляр микроскопа. Параметры резьбы измеряются с помощью отсчетных устройств микроскопа [1].

Внутренний диаметр резьбы измеряется обычными контактными инструментами, в частности концевыми мерами с обычными боковичками (см. главу четвертую).

Шаг и угол внутренней резьбы измеряются по слепкам и отливкам. Используются отливки из серы и легкоплавких сплавов (например, Вуда) и слепки из гуттаперчи и гипсовые. По имеющимся данным к наилучшим слепкам относятся слепки из смеси гипса и хромпика. Рекомендуется следующая рецептура: 60 частей гипса (чистого, медицинского) и 40 частей водного раствора хромпика. Водный раствор хромпика состоит из 40 г хромпика, растворенных в 1 л воды, подогретой до 40—50° С.

Отливки из серы (93 части серы и 7 частей графита) более прочны, но дают большую усадку с течением времени. При использовании этого состава для измерения элементов формы, в частности профиля резьбы, указанный недостаток является не очень существенным.

2. РЕЗЬБЫ КОНИЧЕСКИЕ

Измерение по элементам

Средний диаметр наружной конической резьбы измеряется на универсальном микроскопе теневым способом или с помощью ножей.

При измерении среднего диаметра калибр-пробку устанавливают на центрах микроскопа так, чтобы меньший торец находился справа. Визируют меньший торец по измерительному ножу и измеряют расстояние L_1 от торца до вершины одного из витков, который визируется по сторонам профиля. Измеряют средний диаметр по правым и левым сторонам профиля этого витка. Размер среднего диаметра резьбы на расстоянии L_1 от меньшего торца ($d_{ср L_1}$) подсчитывается по формуле

$$d_{ср L_1} = \frac{d_{ср. прав} + d_{ср. лев}}{2} + F, \quad (8.22)$$

где F — поправка, определяемая по формуле,

$$F = \frac{K}{2} S \sin \frac{\alpha}{2} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \operatorname{tg} \varphi, \quad (8.23)$$

где K — конусность; φ — угол уклона; α — угол профиля резьбы; S — шаг резьбы.

Средний диаметр в основной плоскости находят по формуле

$$d_{ср} = [(L - a) - L_1] K + d_{ср L_1}, \quad (8.24)$$

где L — расстояние от большего торца до меньшего (действительная высота калибра) в мм; a — расстояние от большего торца до основной плоскости в мм.

Конусность определяется по формуле

$$K = \frac{d_{ср L_2} - d_{ср L_1}}{L_2 - L_1}, \quad (8.25)$$

где $d_{ср L_2}$ и $d_{ср L_1}$ — два диаметра на расстоянии L_2 и L_1 от меньшего торца.

Овальность резьбы по среднему диаметру определяется разностью его значений в основной плоскости, измеренных в двух положениях с поворотом резьбы на 90° .

Калибры-пробки конических резьб измеряются также методом проволочек. На пинольную трубку 5 горизонтального оптиметра или измерительной машины устанавливается наконечник типа НГЛ-3 (по ГОСТ 11007—66), а на трубку оптиметра 1 — наконечник типа НПП-8. На столике прибора на брусок-подкладку 3 высотой 15—20 мм укладывают блок концевых мер 2, по которому устанавливают прибор на нуль. Размер блока подсчитывается по формуле

$$B = d_{cpL_1} + T, \quad (8.26)$$

где d_{cpL_1} — средний диаметр на расстоянии L_1 от меньшего торца

$$T = d_n \left(1 + \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right) - \frac{S}{2} \left(\operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} - \operatorname{tg}^2 \varphi \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right) + d_n \left(\frac{1}{\cos \varphi} - 1 \right), \quad (8.27)$$

где d_n — диаметр проволочки в мм, определяемый по формуле (8.1).

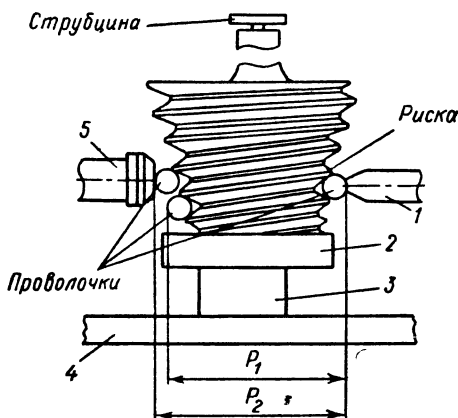


Рис. 8.21

На блок концевых мер 2 калибр устанавливают меньшим торцом (рис. 8.21). Столик прибора 4, установленного по блоку концевых мер, опускают так, чтобы против измерительных наконечников оказалась первая из впадин, отмеченных заранее риской (размер от этой впадины до торца должен быть предварительно измерен на универсальном микроскопе). Во впадину резьбы вкладывают проволочку и с противоположной стороны во впадину, расположенную выше отмеченной, — вторую проволочку. Измеряется размер P_2 . Затем вторую проволочку перекадывают в соседнюю нижнюю впадину и измеряют размер P_1 .

Средний диаметр резьбы на расстоянии L_1 от меньшего торца подсчитывается по формуле

$$d_{cp L_1} = \frac{P_1 + P_2 - 2T}{2}. \quad (8.28)$$

Средний диаметр в основной плоскости подсчитывается по формуле (8.24).

Применяется также другой метод измерения среднего диаметра наружной конической резьбы с помощью проволочек¹. Специальное приспособление-упор (рис. 8.22) имеет площадку, скошенную по отношению к основанию под углом конуса 2α контролируемой резьбы. Приспособление устанавливается на столике вертикального оптиметра. На

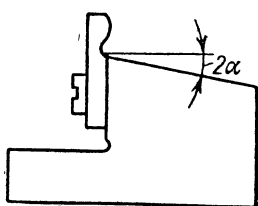


Рис. 8.22

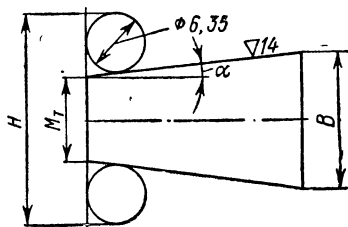


Рис. 8.23

площадку укладывается специальная плитка-клин с тем же углом 2α (рис. 8.23). На клин укладывается блок концевых мер, подобранный таким образом, чтобы сумма размеров малого торца M_r клина и блока концевых мер была равна размеру M для измерения среднего диаметра резьбы в основной плоскости по трем проволочкам. Клин при этом должен упираться меньшим торцом в упор приспособления. Оптиметр (с ножевидным наконечником) устанавливается по клину и блоку концевых мер на нуль.

После этого вместо клина и блока на площадку приспособления устанавливается измеряемый калибр (две проволочки внизу, третья наверху), который также должен упираться малым торцом в упор приспособления.

Размер меньшего торца M_r рассчитывается по среднему диаметру резьбы в основной плоскости и расстоянию между основной плоскостью и торцом. Размер M (поверх проволочек) можно подсчитать по формуле из табл. 8.4. При изготовлении клина размер его малого торца выдерживается с погрешностью не более $\pm 0,001$ мм. Контролируется этот размер с помощью двух роликов (рис. 8.23). Размер H (поверх роликов) подсчитывается по формуле

$$H = M_r + d_p \left(\operatorname{ctg} \frac{90 - \alpha}{2} + 1 \right), \quad (8.29)$$

где d_p — диаметр ролика; α — угол уклона.

¹ Метод применяется на Горьковском автомобильном заводе, Уралмаше и др. (3).

Если применять ролики диаметром 6,35 мм, то размер H можно брать из табл. 8.15.

При измерении конической трубной резьбы с углом конуса $2\alpha = 3^\circ 34' 48''$ достаточно иметь три клиновидные плитки № 1, 2 и 3 (табл. 8.15). Для резьбы с углом $2\alpha = 7^\circ$ необходима одна плитка № 4; для резьбы с углом $2\alpha = 12^\circ$ — плитки № 5 и 6.

ТАБЛИЦА 8.15
Размеры M_T , B и H , используемые при измерении конических резьб

№ клиновидных плиток	α	2α	$\cos \alpha$	M_T	B	H
1	$1^\circ 47' 24''$	$3^\circ 34' 48''$	0,99952	7,160	9,035	20,063
2	$1^\circ 47' 24''$	$3^\circ 34' 48''$	0,99952	18,035	19,910	30,938
3	$1^\circ 47' 24''$	$3^\circ 34' 48''$	0,99952	40,383	42,258	53,286
4	$3^\circ 30'$	7°	0,99813	7,202	10,872	20,302
5	6°	12°	0,99452	20,595	26,901	33,997
6	6°	12°	0,99452	30,121	36,427	43,523

Шаг конических резьб у калибров-пробок измеряют на универсальном микроскопе теневым способом или с помощью ножей. Измерение производят параллельно оси резьбы, кроме резьб по ГОСТ 9909—70, у которых шаг измеряют параллельно образующей конуса.

При измерении шага калибр устанавливают на центрах микроскопа. Калибр диаметром св. 100 мм устанавливают на высоких центрах.

В случае измерения теневым способом перекрестие окулярной сетки накладывают на вершину изображения витка резьбы. Это достигается последовательным наложением центральной штриховой линии (при повороте окулярной пластины) на обе стороны профиля витка.

Если штриховая линия при повороте окулярной сетки накладывается без просвета на обе боковые стороны профиля, то это означает, что перекрестие сетки совмещено с вершиной угла профиля резьбы. Проведя эту операцию на двух витках и сняв при этом отсчеты по продольной шкале микроскопа, подсчитывают значение шага как разность этих отсчетов.

При использовании ножей каретку с центрами после снятия отсчета по ножу, установленному по первому витку резьбы, перемещают в продольном направлении на величину $A = Sn$, где S — номинальный шаг и n — число витков, между которыми измеряют шаг.

Кронштейн микроскопа в поперечном направлении перемещают на величину $B = Sn \operatorname{tg} \alpha$, где α — угол уклона конуса. Если после этого штриховая линия сетки не будет совмещаться с риской ножа, это означает, что имеется погрешность шага. Величину погрешности определяют, перемещая каретку только в продольном направлении и отсчитывая величину этого дополнительного перемещения.

Для исключения влияния перекоса резьбы относительно оси, измерение производят по правым и левым сторонам профиля и берут среднее арифметическое.

Угол профиля резьбы измеряют обычно одновременно с измерением шага теньвым способом или с помощью ножей.

Наружный диаметр калибра-пробки с конической резьбой измеряют на микроскопе. При этом к меньшему торцу калибра приставляется измерительный нож, от риски которого отсчитывается расстояние L_1 продольным ходом микроскопа. В этом сечении измеряют наружный диаметр калибра в двух положениях (поворачивая калибр вокруг оси на 90°).

Наружный диаметр в основной плоскости подсчитывают по формуле

$$d_{\text{нар}} = [(L - a) - L_1] K + d_{\text{нар}L_1}, \quad (8.30)$$

где L — высота калибра; a — расстояние от большего торца до основной плоскости; K — конусность.

Конусность по наружному диаметру определяют по формуле

$$K = \frac{d_{\text{нар}L_2} - d_{\text{нар}L_1}}{L_2 - L_1}, \quad (8.31)$$

где L_1 и L_2 — расстояния от меньшего торца.

Наружный диаметр больших калибров (свыше $1\frac{1}{2}$ ") измеряют на синусной линейке с упорной планкой. Размер блока концевых мер для поворота синусной линейки подсчитывают по формуле

$$B = L_p \sin \alpha, \quad (8.32)$$

где L_p — база линейки.

Уперев калибр большим торцом в планку (рис. 8.24), со стороны меньшего торца устанавливают два одинаковых блока концевых мер, на которые кладут цилиндрический валик. Образующая валика должна касаться торца калибра.

Наружный диаметр калибра в плоскости меньшего торца находят по формуле

$$d_{\text{нар. м. т}} = AD \pm C,$$

где C — разность показаний отсчетной головки по валику и по калибру (рис. 8.24); AD — величина, подсчитываемая по формуле

$$AD = R \operatorname{ctg} \left(45 - \frac{\alpha}{2} \right) + \frac{R + L_m}{\cos \alpha} + R \operatorname{tg} \alpha, \quad (8.33)$$

где R — радиус валика; L_m — размер блока концевых мер под валиком; α — угол уклона.

Наружный диаметр в основной плоскости определяют по формуле

$$d_{\text{нар. о. п}} = (L - a) K + d_{\text{нар. м. т.}} \quad (8.34)$$

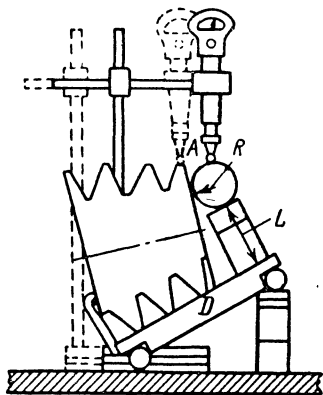


Рис. 8.24

Одновременно с измерением наружного диаметра на синусной линейке можно определить отклонение конусности по наружному диаметру. Если показание отсчетной головки (микрокатора, например) на большем торце больше, чем на меньшем, то угол конуса больше номинального, и наоборот.

Проверка свинчиваемости пары

Проверка свинчиваемости пары производится путем определения натяга при припасовке кольца к пробке. Для обеспечения плотного свинчивания применяют специальные ключи с тарифованным усилием.

Натяг свинченной пары проверяется измерением высоты выступа большого торца калибра-пробки над торцом кольца. Эту высоту измеряют при помощи блока концевых мер длины и лекальной линейки либо при помощи многооборотной измерительной головки. Измерение производят в нескольких точках. Предельные допустимые отклонения указаны в приложении 3 ГОСТ 12690—67.

Список литературы

1. **Взаимозаменяемость** и технические измерения в машиностроении. Б. С. Балакшин и др. М., «Машиностроение», 1972, 615 с.
2. **Парфенчук С. П.** Прибор для контроля среднего диаметра резьбы. — В кн.: *Металлорежущий и контрольно-измерительный инструмент*. НИИмаш, № 5 (41), 1971, с. 38.
3. **Совершенствование средств технического контроля и измерений** на Уральском заводе тяжелого машиностроения им. С. Орджоникидзе. Сборник № 8—68—71. НИИинформтяжмаш, 1968, с. 30—32.
4. **Справочник** по производственному контролю в машиностроении. Под ред. А. К. Кутая. Л., Машгиз, 1964, 748 с.

ГЛАВА ДЕВЯТАЯ

ИЗМЕРЕНИЕ И КОНТРОЛЬ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

При производстве зубчатых колес, кроме приемочного контроля, широко применяются также профилактический и текущий виды контроля.

Приемочный контроль позволяет произвести оценку соответствия точности изделия требованиям, определяемым служебным назначением зубчатых колес. Результаты контроля должны характеризовать эксплуатационные показатели точности колеса: кинематическую точность, плавность работы, контакт зубьев и величины боковых зазоров между зубьями в собранной передаче (см. главу первую, п. 9).

Приемочный контроль стремятся проводить комплексными методами и выполнять при совмещении измерительной базы с монтажной базой изделия.

Для высокоскоростных колес приемочный контроль включает также проверку колес и передач по шуму или вибрации.

Для крупногабаритных колес взамен приемочного контроля обычно производят профилактический контроль технологических средств, используемых для зубообработки.

Текущий контроль разделяется на технологический, активный и операционный. Технологический контроль ставит своей целью проверку отлаженности технологической операции и выяснение причин погрешностей, возникающих при изготовлении колес по результатам их измерения; он выполняется в процессе настройки технологической операции.

При проведении технологического контроля с целью выяснения влияния каждого технологического фактора измерительную базу совмещают с технологической, а не с монтажной, как при приемочном контроле.

Активный контроль зубчатых колес производится во время зубообработки или по окончании операции, и по его результатам осуществляется управление или подналадка процесса.

Операционный контроль выполняется после окончания соответствующей технологической операции.

Для измерения зубчатых колес, червяков и червячных колес обычно применяются специальные зубоизмерительные приборы. Общие технические требования к приборам для контроля цилиндрических зубчатых колес см. ГОСТ 5368—73 и ГОСТ 10387—73, для контроля конических зубчатых колес — ГОСТ 9459—60 и ГОСТ 11357—65 и для контроля червяков, червячных колес и червячных передач — ГОСТ 9776—61.

Зубоизмерительные приборы по своему назначению делятся в зависимости от контролируемых показателей точности, для измерения

которых они могут быть использованы (кинематической погрешности, шага, профиля и т. д.), и от вида колес (цилиндрических, конических, червячных), которые могут быть ими измерены.

Многие зубоизмерительные приборы дают возможность измерять колеса по двум или более показателям, а также проверять колеса различного вида.

Зубоизмерительные приборы выполняются двух типов: станковые — С, на которые устанавливается проверяемое колесо, центрируемое по отверстию колеса на оправке прибора или в центрах, и накладные — Н, устанавливаемые на измеряемое колесо по зубьям или впадинам и базируемые иногда по окружности вершин колеса и торцу.

Станковые приборы делятся по размерам контролируемых колес на типоразмеры: С-0 — до диаметра 120 мм, С-1 — до диаметра 320 мм и в более редких случаях С-II — до диаметра 800 мм и С-III — до 1250 мм.

Зубоизмерительные приборы снабжаются показывающим или записывающим устройством, дающим возможность численного определения отклонения или размера.

Измерительный наконечник у большинства приборов выполняется кромочным, т. е. соприкасающимся с поверхностью измеряемого зуба в точке или по линии вдоль зуба. Более целесообразно применение тангенциального (плоского) наконечника, касательного к поверхности зубьев, условия измерения которых близки к условиям соприкосновения профилей зубьев при зацеплении их в передаче.

2. ИЗМЕРЕНИЕ И КОНТРОЛЬ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Измерение и контроль цилиндрических зубчатых колес производятся специальными и универсальными измерительными средствами (табл. 9.1). Технические характеристики приборов для контроля цилиндрических зубчатых колес, выпускаемых инструментальными заводами, приведены в табл. 9.2.

Измерение кинематической и циклической погрешностей

Под кинематической погрешностью колеса понимается разность между действительным и номинальным углом поворота колеса на его рабочей оси, ведомого точным колесом при отсутствии непараллельности и перекоса осей вращения этих колес.

Метод измерения состоит в определении разности действительных и номинальных перемещений измерительного колеса или рейки при одинаковых перемещениях ведущего элемента в условиях однопрофильного зацепления между ними. Требования к измерительным колесам см. ГОСТ 6512—58.

Кинематическая погрешность колеса при комплексной однопрофильной обкатке практически определяется сравнением поворотов ведомых звеньев двух систем, из которых одна состоит из зубчатой передачи 1 и 2, другая — из механизма прибора 3 и 4, обеспечивающего точную (эта-

ТАБЛИЦА 9.1
Средства измерения цилиндрических зубчатых колес

Измеряемый элемент	Средства измерения	
	специальные	универсальные
Кинематическая и циклическая погрешности	Приборы для комплексного однопрофильного контроля; волномеры	—
Накопленная погрешность окружного шага	Многошаговые шагомеры; угловые шагомеры; приборы для контроля на полуокружности	Теодолиты; лимбы; делительные диски, делительные головки — все с применением рычажно-чувствительного прибора
Измерительное межосевое расстояние	Межцентромеры; приборы для проверки колебания относительного смещения рейки	Штихмасы
Биеение зубчатого венца	Биеенимеры	Плита с центрами; ролики и рычажно-чувствительный прибор
Шаг зацепления	Шагомеры для основного шага	Штангенциркуль; микрометрический нормалемер
Окружной шаг	Шагомеры для окружного шага	Штангенцикуль и ролики
Профиль зубьев	Шаблоны; эвольвентомеры	Проекторы; большая модель инструментального микроскопа
Направление зубьев и контактная линия	Контактомеры — универсальные, прямолинейности, направления; приборы для проверки осевого шага; ходомеры; приборы для проверки среднего направления зубьев	Плита с центрами; ролики и рычажно-чувствительный прибор на стойке
Толщина зубьев, смещение исходного контура, длина общей нормали	Штангензубомеры, тангенциальные зубомеры; модульные седла; предельные шаблоны; нормалемеры	Два ролика и микрометр; штангенцикуль; микрометрический нормалемер; жесткие предельные скобы

Приборы для контроля цилиндрических зубчатых

Наименование прибора	Шифр и завод	Tex			
		<i>m</i>	<i>d</i>	<i>a</i>	
		в мм			
Прибор для контроля кинематической поверхности	БВ-5033 ЧЗМИ	0,15—1	5—40	—	
	БВ-5053 ЧЗМИ	От 0,5	10—200	0—150	
	БВ-936 ЧЗМИ	1—10	40—300	70—250	
	УКМ-5 ЧЗМИ	1—10	20—400	75—400	
Прибор для контроля кинематической погрешности без измерительных колес	БВ-5030 ЧЗМИ	0,5—10	20—400 60—300 *	—	
Прибор для контроля накопленной погрешности окружного шага на угле 180°	ШМ-1 ЧЗМИ	1—10	20—320	—	
	ШМ-2 ЧЗМИ	0,3—1,5	5—160	—	
Прибор для контроля измерительного межцентрового расстояния	МЦМ-160 ЧЗМИ	0,3—1	5—120	25—160	
	МЦМ-4006 ЧЗМИ	1—10	—	40—400 40—310 *	}
	МЦМ-320М ЧЗМИ	1—10	—	50—320	
	БВ-5029 ЧЗМИ	2—16	200—800 200—630 *	150—630	
Прибор для поэлементного контроля цилиндрических и конических колес и шевров	БВ-5015 ЛИЗ	1—10	40—400	—	

ТАБЛИЦА 9.2

колес, выпускаемые инструментальными заводами

техническая характеристика				
l	Цена деления в мм или с	Погрешность в мм	Габариты в мм, масса в кг	Дополнительные данные
<100	0,0002	0,002	715×520×520; 185,4	С электроприводом и самописцем; набор реек всех модулей
<320	0,0005; 0,001; 0,002; 0,005	0,002— 0,004	1410×775×1640; 936	С электроприводом и самописцем; передаточное отношение от 2 : 1 до 1 : 10
500	2; 4; 8 и 16"	±5 и ±20÷38"	1130×1590×1735; 1200	С электроприводом и самописцем; передаточное отношение от 3 : 1 до 1 : 3
500	—	—	800×600×1700; 1000	С электроприводом и самописцем; обкат с червяком; в комплект входит МЭК-1СО
100— 400			1200×950×1095; 800	С самописцем
100— 320	0,01 и 0,001	0,005	770×440×900; 200	С электроприводом и самописцем; полуавтомат; цикл 2—5 с на зуб
—	0,001	0,003	1000×300×550; 75	С электроприводом; счетчик для регистрации числа зубьев. Самописец по заказу
40— 100	0,001	0,005	1000×360×700; 85	С электроприводом и самописцем. Устройства для контроля колес внутреннего зацепления, конических и червячных передач
320	0,001	0,025	1100×710×520; 200	То же
—	—	—	1200×960×700; 350	»
800	0,002	0,007— 0,025	1910×620×2155; 900	С электроприводом и самописцем. Приспособления для контроля шага и биения от БВ-5050 и контроля конических и червячных передач
—	0,001 и 1"	—	1015×585×1585; 500	Устройства для контроля шагов, длины нормали и биения

Наименование прибора	Шифр и завод	Тех			
		<i>m</i>	<i>d</i>	<i>a</i>	
		в мм			
Прибор для поэлементного контроля мелко модульных колес	БВ-5035 ЛИЗ	0,15— 1,25 0,3— 1,25 *	5—160 15—120 *	—	
Прибор для поэлементного контроля шага и биения	БВ-5050 ЧЗМИ	2—16	200—1000	150—630	
Биениемер для цилиндрических и конических колес	25 002 ЛИЗ	0,3—2 0,3—1 * 0,3—1 **	5—180 15—140 * 20—160 **	—	
Биениемер	Б-10М ЧЗМИ	1—10 1—8 **	20—400 60—400 * 20—320 **	—	
Эвольвентомер универсальный	КЭУ-СМ69 ЧЗМИ	1—10	40—320	—	
Эвольвентомер	БВ-5032 ЧЗМИ	0,5—10	20—400 60—250 *	—	
Эвольвентомер индивидуального-дисковый	БВ-1089 ЧЗМИ	1—10	20—600, а для вал- ковых 20—400, 60—250 *	—	
Контактомер универсальный с устройством для контроля осевого и окружного шагов	БВ-5028 ЧЗМИ	1—10	20—400	—	
Прибор для контроля направления зуба	БВ-986 ЧЗМИ	1,5—6	60—250	—	

Продолжение табл. 9,2

Техническая характеристика				
l	Цена деления в мм или с	Погрешность в мм	Габариты в мм, масса в кг	Дополнительные данные
—	0,001 и 1"	—	770×320×550; 112	Устройства для контроля шагов, длины нормали, биения, измерительного межцентрового расстояния, конических колес
800	0,002	—	1605×620×1600; 1100	Устройства для контроля направления зуба и измерительного межцентрового расстояния с электроприводом и самописцем
240	0,001	0,002	535×305×360; 32	Приспособления для контроля колес внутреннего зацепления
<350	0,01 и 0,001	0,007	760×625×400; 150	Приспособления для контроля колес внутреннего зацепления и конических
320	0,001	0,005	700×710×1210; 700	С самописцем с увеличением 500, 1000, 2000 и 5000×
100—400	0,001	0,001	1200×950×1095; 800	С электроприводом и самописцем. Угол наклона зуба до 45°
100—450	0,001	0,003	1760×1110×700; 572	Устройства для контроля винтовой линии с углом наклона до 45°. С самописцем
630	0,001 и 1"	0,004	1640×780×770; 590	С самописцем. Устройство для контроля биения. Наибольший угол наклона 45°, наибольшая длина 250 мм
250—345	0,001	—	760×710×360; 118,7	С самописцем

Наименование прибора	Шифр и завод	Тех			
		<i>m</i>	<i>d</i>	<i>a</i>	
		в мм			
Ходомер	БВ-5034 ЧЗМИ	1—10	20—400	—	
Универсальный контрольно-обкатной станок	5720 5725 5727 Саратовский завод зубо- резных тяжелых станков	—	<120 <500 <1600	0—100 0—280 (205 *) 130— 1000; 130—600 *	
Шагомеры для основного шага	КЛ-10 (21501)	1,75—10	—	—	
	КЛ-16К (21601)	8—16	—	—	
	БВ-5019 (21701) ЛИЗ	16—40	—	—	
Шагомер для основного и окружного шагов колес внутреннего зацепления	БВ-5001М ЛИЗ	2—10	>200 *	—	
Шагомер для основного и окружного шагов	БВ-5043	2—16	—	—	
	БВ-5044 ЛИЗ	16—30	—	—	
Волномеры	БВ-5024 ЧЗМИ	1,5—10	—	—	

Продолжение табл. 9.2

Техническая характеристика				
l	Цена деления в мм или в	Погрешность в мм	Габариты в мм, масса в кг	Дополнительные данные
630	—	—	1645×340×900	Электропривод и самописец. Устройства для контроля накопленной погрешности, осевого шага и биения. Ход винтовой линии от 200 мм. Предполагается замена прибором БВ-5062 для диаметров 20—340 и 60—250 * с ходом от 150 мм
—	—	—	—	Возможен контроль конических и гипонидных передач с углом от 0 до 180°. С электроприводом
—	—	—	—	
—	—	—	—	
—	0,001	0,0035	211×130×60; 1,25	Тип 21501 снабжается приспособлением для закрепления прибора
—	0,001	0,006	240×130×60; 2,2	
—	0,001	0,010	270×190×78; 2,8	
—	0,001	0,0025— 0,006	146×158×44; 1,2	—
—	—	—	170×60×140; 1,4	—
—	—	—	245×60×190; 3	
—	0,001	0,003	220×115×80; 1,75	Снабжается самописцем и приставкой для протягивания бумаги

Наименование прибора	Шифр и завод	Тех			
		<i>m</i>	<i>d</i>	<i>a</i>	
		в мм			
Зубомеры тангенциальные	2301	2—10	—	—	
	2311	8—40	—	—	
	2321 ЛИЗ	28—60	—	—	
Зубомер кромочный индикаторный	ЗИМ-16	1—16	—	—	
	ЗИМ-32 КРИН	16—32	—	—	
Зубомер кромочный для колес внутреннего зацепления	БВ-5016К	1—10	>105	—	
	БВ-5017К ЛИЗ	8—16	>115	—	
Микрометры зубомерные (нормалемеры)	МЗК-1	>0,5	<75	—	
	МЗК-2	>0,5	75—150	—	
	МЗК-3	>0,5	150—225	—	
	МЗК-4 КРИН	>0,5	225—300	—	
Нормалемеры мелко модульные (рычажный)	БВ-5047—25	>0,5	<75	—	
	БВ-5047—50 ЛИЗ	>0,5	75—150	—	
Нормалемеры	БВ-5045	≥1	360 (W < 120)	—	
	БВ-5046	≥2	150—1000 (50—300)	—	
	2221-К ЛИЗ	≥2,5	450—2100 (150—700)	—	
Примечание: * — для колес внутреннего зацепления; ** — для					

Продолжение табл. 9.2

Техническая характеристика					
	<i>l</i>	Цена деления в мм или с	Погрешность в мм	Габариты в мм, масса в кг	Дополнительные данные
	—	0,01	0,017	145×30×80; 0,4	Калибры-ролики для настройки в пределах измерения
	—	0,01	0,025	145×30×85; 0,4	
	—	0,01	0,050	145×30×90; 0,4	
	—	0,01	0,017—0,028	187×128×35; 0,65	С двумя микрометрами и индикатором То же
	—	0,01	0,035—0,050	200×128×35; 0,85	
	—	0,01	—	55×60×110; 0,50	Снабжен индикатором » »
	—	0,01	—	60×75×115; 0,55	
	—	0,01	0,005	186×78×30; 0,44	—
	—	0,01	0,005	211×87×30; 0,55	
	—	0,01	0,005	240×108×30; 0,70	
	—	0,01	0,005	268×147×30; 0,97	
	—	0,001 и 0,01	0,004	270×62×23; 0,65 кг	Снабжены микрометрическим винтом для абсолютных измерений
	—	0,001 и 0,01		270×62×23; 0,65 кг	
	—	0,002	0,01	320×73×36; 1	—
	—	0,002	0,01	460×96×36; 1,3	
	—	0,002	0,012—0,022	830×155×48; 2,2	
Коваческих колес.					

лонную) передачу с заданным передаточным отношением (рис. 9.1). При применении современных электронных устройств контроль сводится к измерению угловых перемещений ведомой системы $\varphi_{вд}$ за постоянные величины перемещения ведущей системы $\varphi_{вщ}$ с помощью импульсных преобразователей (рис. 9.2) Π_1 и Π_2 , блока настройки на передаточное число U , сумматора Σ и самописца C .

При измерении колеса базируется по отверстию в колесе или по центровым гнездам на валу (при выполнении колеса совместно с валом).

Для приближения условий зацепления между профилями зубьев контролируемого и измерительного зубчатых колес к эксплуатацион-

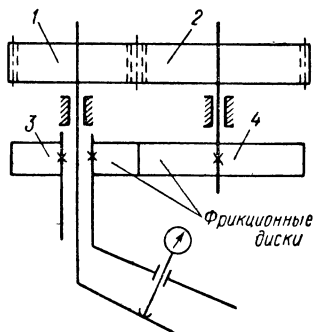


Рис. 9.1

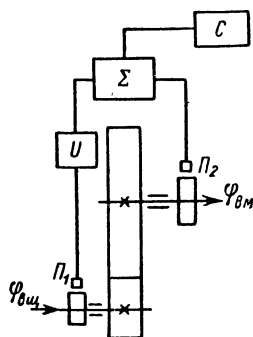


Рис. 9.2

ным условиям можно выполнять измерительное зубчатое колесо по номинальным геометрическим параметрам, тождественным парному зубчатому колесу, или же при контроле обеспечивать зацепление колеса в пределах его активного профиля в эксплуатации.

Обкатывание в пределах активного профиля создается установкой на приборе расчетного межцентрового расстояния между контролируемым и измерительным колесами (формулы расчета см. [7, 8]).

При измерении на приборе выясняются кинематическая, местная кинематическая и циклическая погрешности.

Под циклической погрешностью понимают составляющую кинематической погрешности колеса, периодически многократно повторяющуюся за один его оборот. Обычно она определяется как средняя величина размаха колебаний кинематической погрешности колеса с частотой, равной частоте входа зубьев в зацепление, или другой частотой, взятой по всем циклам за оборот колеса. Таким образом, на приборах для однопрофильного контроля определяют кинематическую погрешность колеса — по наибольшей разности показаний за один оборот, местную кинематическую погрешность — по разности между соседними экстремальными значениями и циклическую погрешность — по средней величине многократно повторяющихся изменений показаний прибора в пределах одного оборота контролируемого колеса.

Прибор для контроля кинематической погрешности цилиндрических колес БВ-936 выпу-

скается Челябинским заводом мерительных инструментов (ЧЗМИ). Он может быть настроен на любое передаточное отношение в пределах от $3 : 1$ до $1 : 3$. Ведущий шпиндель, приводимый во вращение от электродвигателя, несет на себе точный барабан 1 (шпиндель) диаметром 100 мм (рис. 9.3). Перекинутая через барабан стальная лента 2 передает движение каретке 3, ролик которой находится в контакте с плечом рычага 4. Второе плечо рычага передает движение также через ролик каретке 5. За счет перемещения каретки 9 с осью рычага 4 по направ-

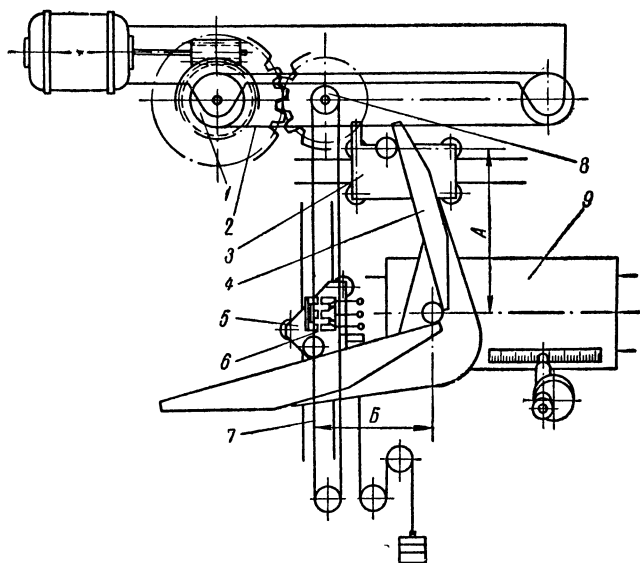


Рис. 9.3

ляющей, параллельной направлению движения каретки 3, можно изменять действующее плечо B рычажной передачи, не меняя плеча A . Таким образом, перемещая каретку 9, можно изменять общее передаточное отношение точной кинематической цепи от шпинделя 1 к каретке 5. Ведомый шпиндель 8, движение к которому передается от шпинделя 1 через проверяемую пару колес, имеет барабан диаметром 50 мм, перематывающий ленту 7. На последней фрикционно укреплен якорь индуктивного преобразователя 6, корпус которого установлен на каретке 5.

При работе прибора каретку 9 устанавливают таким образом, чтобы каретка 5, получающая движение через рычажную передачу, и лента 7, приводимая через проверяемую пару колес, двигались с одинаковой скоростью. При этом все отклонения в проверяемых колесах будут вызывать смещения якоря, регистрируемые индуктивным самописцем БВ-662. Техническая характеристика прибора БВ-936 приведена в табл. 9.2.

Прибор для контроля кинематической погрешности мелко модульных колес БВ-5033 (рис. 9.4) выпускается заводом ЧЗМИ. Контролируемое колесо 1 диаметра d зацепляется с измерительной рейкой 3 соответствующего модуля. Кинематическая цепь прибора состоит: из барабана 2 диаметра D , соосного измеряемому колесу 1, бесконечной ленты 4, каретки 5, которая протягивает ленту, синусной линейки 6 длиной L , расположенной на каретке 5 под углом ψ , и поперечной каретки 7, к которой на плоских

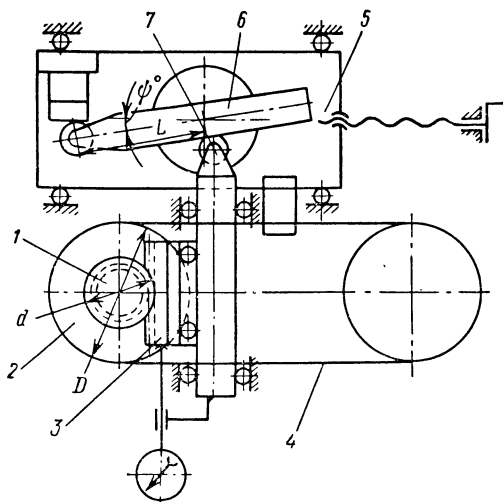


Рис. 9.4

пружинах подвешена измерительная каретка с рейкой 3 и закреплен преобразователь или регистрирующий прибор. Техническая характеристика прибора приведена в табл. 9.2.

Прибор для контроля кинематической погрешности цилиндрических зубчатых колес УКМ-5 (ЧЗМИ) при зацеплении с измерительным червяком (рис. 9.5) снабжен магнитоэлектрическим кинематомером МЭК-1 СО. Шпиндель измерительного червяка приводится во вращение электродвигателем. На оси шпинделя приводится диск с магнитными рисками, воздействующими на неподвижную электромагнитную головку. Второй диск большего диаметра посажен на шпинделе, в центрах которого устанавливается контролируемое колесо. На обоих дисках нанесены предварительные точно расположенные риски, причем число рисок на диске шпинделя колеса в z раз больше числа рисок на диске шпинделя червяка.

Вследствие неточностей контролируемого колеса сигналы от обоих дисков возникают одновременно, и фазометрическое устройство измеряет величину рассогласования сигналов, а самописец записывает эти результаты.

Прибор может быть также использован для измерения кинематической погрешности колеса разностным методом взамен абсолютного. В этом случае на диске шпинделя колеса нет предварительно нанесенных рисок. Контроль производится в два этапа: в первом — перепись рисок, во втором — считывание рисок после углового смещения считывающей головки от положения, имевшегося при переписи.

Прибор для контроля кинематической погрешности без измерительных колес БВ-5030 (ЧЗМИ) состоит из эвольвентомера (см. далее прибор БВ-5032) и угло-

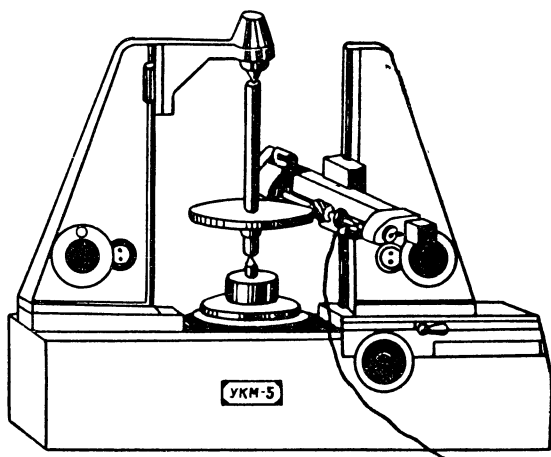


Рис. 9.5

вого шагомера (см. БВ-5015). Сочетание в одном приборе двух устройств позволяет получать при измерении колеса координированные эвольвентограммы, т. е. так называемую диаграмму прерывной кинематической погрешности колеса. Техническая характеристика прибора БВ-5030 дана в табл. 9.2.

Циклическую погрешность обработки косозубых колес с большой шириной обода можно измерять в о л н о м е р а м и (рис. 9.6). При перемещении волномера, опирающегося на два сферических наконечника 1, располагающихся во впадине между зубьями, и наконечника 2, касающегося вершины зуба колеса, показания прибора будут периодически колебаться. Точки наибольших показаний отсчетной головки 4, фиксирующей колебания наконечника 3, при наличии циклической погрешности из-за неточности делительного колеса станка располагаются на линиях, параллельных оси колеса. Длина волны циклической погрешности, измеряемая по винтовой линии зуба, равна

$$l = \frac{2\pi r_k}{z_{\text{дк}} \sin \beta_k},$$

где $z_{\text{дк}}$ — число зубьев делительного колеса зубообрабатывающего станка, работающего методом обкатки; r_k — радиус цилиндра колеса,

на котором измеряется волнистость; β_k — угол наклона зуба на том же цилиндре.

Техническую характеристику волномера БВ-5024 Челябинского завода мерительных приборов см. в табл. 9.2.

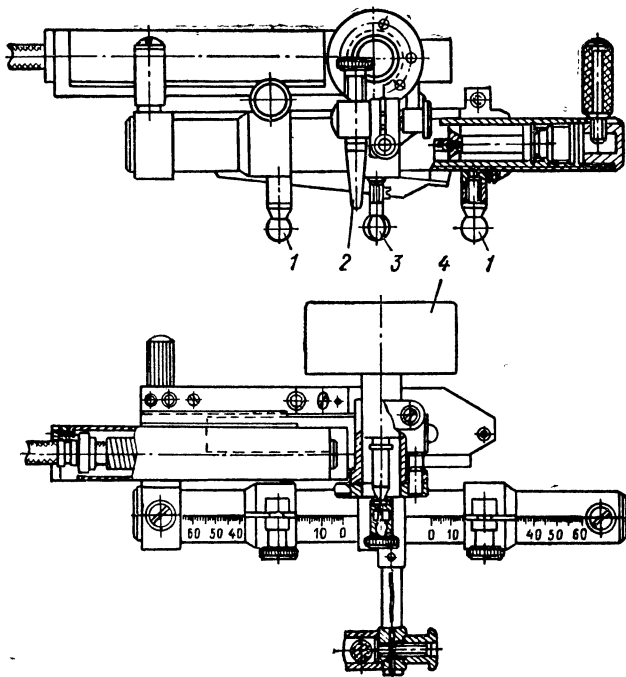


Рис. 9.6

Измерение накопленной погрешности шага

Накопленная погрешность шага колеса определяется непосредственными измерениями на угловых шагомерах или с применением универсальных приборов для угловых измерений: теодолитов, делительных лимбов, дисков или головок. Контролируемое колесо устанавливается соосно с угломерным лимбом. Измерительный наконечник рычажно-чувствительного прибора (миниметра, индикатора и т. д.) приводится в соприкосновение с профилем колеса (рис. 9.7). После поворота колеса на угловой шаг $\left(\tau = \frac{2\pi}{z}\right)$ наконечник возвращается в исходное радиальное положение, и по разности крайних показаний определяют накопленную погрешность шага.

Приборы для поэлементного контроля цилиндрических и конических зубчатых колес

БВ-5015 и БВ-5035 предназначены для измерения погрешности по описанной выше схеме. Ленинградский инструментальный завод выпускает две модели приборов. Технические характеристики приборов БВ-5015 и БВ-5035 приведены в табл. 9.2.

Приборы также снабжены измерительными каретками для измерения разности окружных шагов, основного шага, длины общей нормали и радиального биения зубчатого венца. В приборе БВ-5035 имеется специальный узел для комплексного двухпрофильного контроля зубчатых колес.

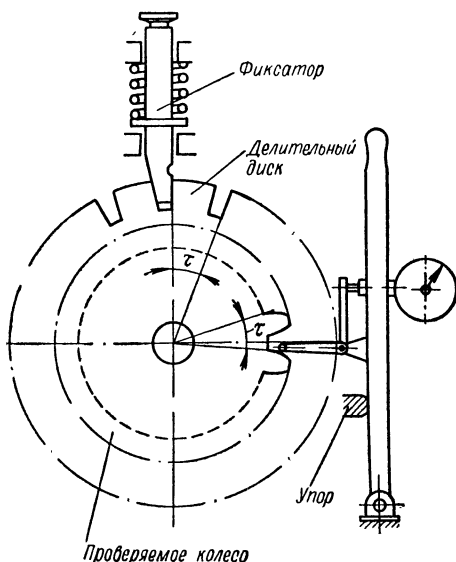


Рис. 9.7

Для контроля шеверов, долбяков, измерительных колес и колес, используемых в отсчетных передачах, применяются приборы, сопоставляющие расположение диаметрально противоположных зубьев колеса. При контроле колесо базируется по отверстию и одно из зубьев колеса упирается в жесткий упор 1 (рис. 9. 8), а к другому зубу, удаленному на полуокружность, подводится чувствительный наконечник 2. Накопленную погрешность окружного шага принимают равной полуразности крайних показаний. Подобный метод дает незначительное занижение действительной величины накопленной погрешности окружного шага зубчатого колеса [8].

Прибор для контроля окружного шага и накопленной погрешности на угле 180° выпускается ЧЗМИ двух типов — для мелко модульных колес ШМ-2 и средн модульных колес ШМ-1. Оба типа приборов снабжены моторным приводом, обеспечивающим разведение двух кареток и поворот зубчатого колеса на один зуб. Техническая характеристика приборов дана в табл. 9.2.

Накопленная погрешность может быть также определена по результатам измерения равномерности окружного шага по всему колесу. Недостаточная точность этого метода при большом числе зубьев, а также трудоемкость математической обработки результатов измерения равномерности единичных шагов делают этот способ малопригодным для многих практических случаев.

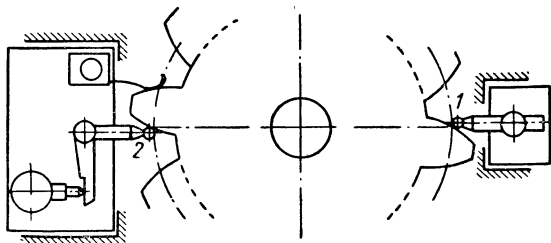


Рис. 9.8

При большом числе зубьев на проверяемом колесе, например св. 100—150, применяются многшаговые шагомеры, захватывающие одновременно несколько зубьев (6—8 и более). В этом случае повышается точность измерения и упрощается математическая обработка результатов контроля.

Измерение окружного шага

Измерение производится шагомерами для окружного шага. Эти приборы предназначены для проверки равномерности расстояний между одноименными профилями зубчатого колеса по хордам дуг какой-либо окружности измерения.

При измерении равномерности окружных шагов приборы настраиваются по произвольной паре смежных профилей и затем производится сопоставление расстояний между последующими профилями.

Универсальный измерительный прибор для цилиндрических колес БВ-5050 станкового типа выпускается ЧЗМИ. На приборе проверяются следующие параметры зубчатых колес: разность окружных шагов; радиальное биение зубчатого венца; колебание длины общей нормали; отклонение основного шага; отклонение направления и прямолинейности контактной линии. Прибор также имеет сменное устройство для контроля колебания измерительного межосевого расстояния. Техническую характеристику см. в табл. 9.2.

Шагомеры для окружного шага (типа БВ-5043 и БВ-5044) — приборы накладного типа для измерения цилиндрических и конических колес — выпускаются Ленинградским инструментальным заводом (ЛИЗ). Характеристика приведена в табл. 9.2.

Для контроля шага зацепления и окружного шага колес внутреннего зацепления ЛИЗ выпускает специальный прибор БВ-5001М. Размеры прибора позволяют его использовать для контроля колес с диаметром более 200 мм (см. табл. 9.2).

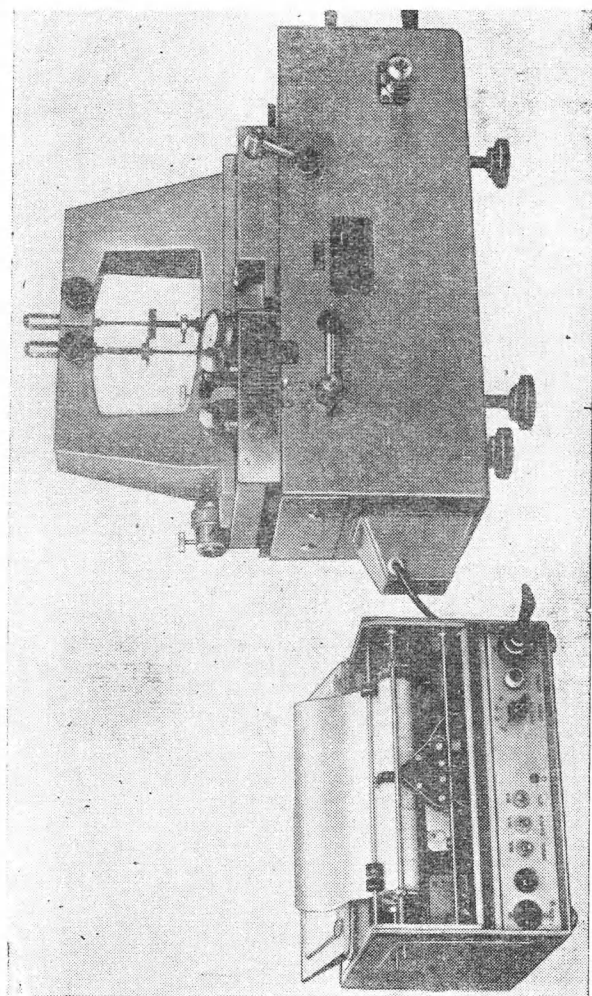


Рис. 9.9

Комплексное двухпрофильное измерение

В условиях массового и серийного производства зубчатых колес 7-й и более грубых степеней точности они подвергаются комплексной двухпрофильной проверке взамен измерения отдельных элементов зацепления (шага, профиля биения и т. д.).

Комплексное двухпрофильное измерение зубчатых колес производится при плотном (без бокового зазора) зацеплении проверяемого колеса с измерительным колесом или измерительными рейками.

Приборы — межцентромеры — измеряют в плотном зацеплении отклонения измерительного межосевого расстояния от номинальной величины и колебание этого расстояния.

При проверке на межцентромерах проверяемое и измерительное колеса находятся в беззазорном зацеплении, что обеспечивается пружиной, воздействующей на плавающий суппорт, несущий одно из колес (рис. 9.9). Колебание измерительного межцентрового расстояния за оборот проверяемого колеса характеризует, главным образом, биение зубчатого венца. Колебание межцентрового расстояния при повороте на один зуб (так называемый скачок) зависит от основного шага и профиля.

ЧЗМИ выпускает четыре типа приборов — межцентромеров для контроля цилиндрических, конических и червячных пар: МЦМ-160, МЦМ-320М, МЦМ-400Б и БВ-5029 (см. табл. 9.2). Межцентромеры для контроля крупногабаритных колес отсутствуют. В отдельных случаях измеряют штихмасом расстояние между шейками валов при наложении шестерни на колесо.

Измерение биения зубчатого венца

Биение зубчатого венца (часто неверно называемое биением начальной окружности или делительной) определяется относительным измерением радиального положения измерительного наконечника, вводимого поочередно во все впадины между зубьями, по отношению к оси зубчатого колеса.

Измерительный наконечник имеет одну из следующих форм: форму зуба рейки, выполненного по исходному контуру; форму усеченного конуса с общим углом при вершине 2α ; форму седлообразного наконечника, имеющего профиль впадины зуба рейки или сферического наконечника диаметром $\sim 1,5$ т.

Измерение биения зубчатого венца осуществляется на приборах для радиальных измерений типа 25002 завода ЛИЗ и Б-10М завода ЧЗМИ (рис. 9.10) и на различных приспособлениях. Приборы изготавливаются станковыми, имеющими измерительный суппорт и центры или измерительную оправку, на которую монтируется проверяемое зубчатое колесо (табл. 9.2).

Разность показаний индикатора или другого показывающего устройства при различных угловых положениях проверяемого колеса принимается за величину биения.

Биение зубчатого венца прямозубых колес может также определяться по радиальному смещению ролика, закладываемого пооче-

редно во впадины между зубьями при установке зубчатого колеса с оправкой в центры. Радиальное смещение ролика при этом фиксируется неподвижно установленным индикатором,

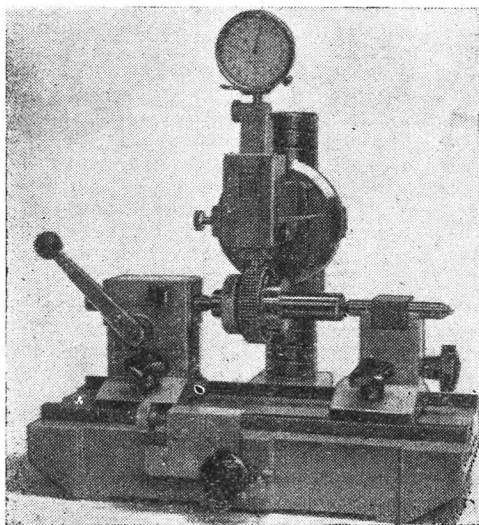


Рис. 9.10

Измерение колебания длины общей нормали

Длиной общей нормали W называется расстояние между двумя параллельными охватывающими губками, касательными к двум различным профилям зубьев.

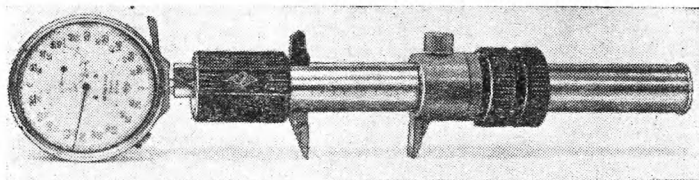


Рис. 9.11

Колебание длины общей нормали в пределах одного колеса характеризует составляющую кинематической погрешности, зависящую от неточности цепи обката зубообрабатывающего станка. Второй составляющей кинематической погрешности колеса является радиальное

биение зубчатого венца. Колебание длины общей нормали не зависит от радиального биения зубчатого венца колеса [8].

Колебание длины общей нормали измеряется с помощью н о р м а л ь н ы х м е р о в, имеющих неподвижную координирующую плоскую губку

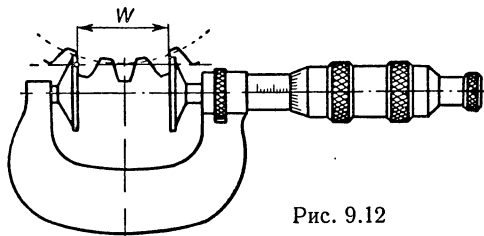


Рис. 9.12

и параллельную ей измерительную губку. Колебание длины общей нормали в различных участках колеса фиксируется стрелкой отсчетного устройства (табл. 9.2 и рис. 9.11) или же отсчитывается по шкале в н о р м а л ь н ы х м е р а х м и к р о м е т р и ч е с к и х (табл. 9.2 и рис. 9.12).

Измерение шага зацепления

Шагом зацепления называется расстояние между двумя параллельными плоскостями, касательными к двум смежным одноименным профилям зубчатого колеса. Отклонение шага зацепления от номинального значения (см. главу первую, табл. 1.61) измеряется с помощью

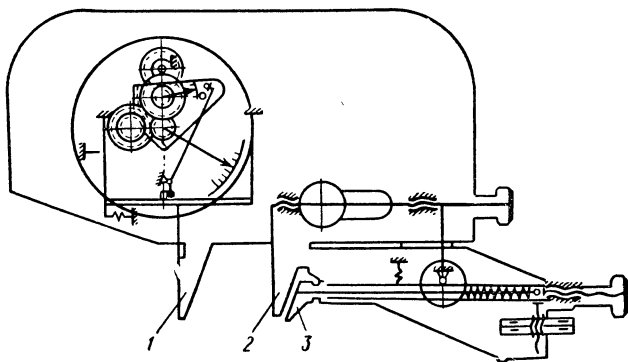


Рис. 9.13

шагомеров для основного шага. Рассмотренные ранее приборы (табл. 9.2) имеют специальные измерительные каретки для измерения основного шага. Кроме того, ЛИЗ выпускает накладные ш а г о м е р ы для основного шага (табл. 9.2 и рис. 9.13). Приборы снабжены двумя тангенциальными контактами — координирующим 2 и измерительным 1. Измерения шага зацепления производятся на всем

участке перекрытия профилей за счет обкатывания прибора по зубу с упором наконечника 3 во второй профиль впадины между зубьями.

Настройка приборов на номинальное значение основного шага выполняется по плоскопараллельным концевым мерам длины.

Основной шаг у косозубых колес проверяется в нормальном сечении, т. е. в плоскости, перпендикулярной направлению зуба на основном цилиндре.

При технологическом контроле находят среднее значение отклонения основного шага f_{pbm} (в мкм) для данной стороны зубьев колеса и по нему определяют погрешность угла профиля f_{α} инструментом или шлифовального круга в угловых минутах или же погрешность радиуса f_{rb} основной окружности (при $\alpha = 20^\circ$) в мкм:

$$f_{\alpha} = -3,2 \frac{f_{pbm}}{m}; \quad f_{rb} = \frac{z}{2\pi} f_{pbm}.$$

где m — модуль в мм.

Для выяснения неизвестных номинальных параметров колеса (модуля и угла зацепления) штангенциркулем или микрометрическим нормалем мером измеряют длины общих нормалей на z_n и z_{n+1} зубьях. Разность этих длин равна шагу зацепления.

Измерение профиля зубьев

Проверка профиля торцового сечения зубьев цилиндрических колес производится сопоставлением действительного профиля зуба с теоретической формой профиля, очерченной на эвольвенте. Проверка производится:

1) сопоставлением действительного профиля зуба с контуром шаблона (проверка на просвет);

2) сличением проекции контура зуба, увеличенного проектором в 10—100 раз, с теоретическим контуром, вычерченным с тем же увеличением;

3) измерением отклонений действительного профиля зуба от теоретической эвольвенты, воспроизводимой измерительным наконечником эвольвентомера в его относительном движении к проверяемому зубчатому колесу. При этом достигается наиболее высокая точность измерения.

Эвольвентомеры — приборы, предназначенные для сопоставления действительного профиля торцового сечения зуба с теоретической эвольвентой заданной основной окружности.

ЧЗМИ выпускаются индивидуально-дисковый эвольвентомер БВ-1089 (рис. 9.14), универсальный эвольвентомер КЭУ-СМ69 рычажно-кулачкового типа (рис. 9.15 и табл. 9.2), а также универсальный эвольвентомер рычажно-дискового типа БВ-5032 (табл. 9.2).

Относительное движение измерительного наконечника по эвольвенте и проверяемого колеса осуществляется согласованным вращением и поступательным перемещением измерительного устройства и колеса. В индивидуально-дисковых эвольвентомерах диаметр диска, необходимого для проверки профиля, должен быть равен диаметру основной окружности колеса.

Для проверки профиля на универсальном эвольвентомере не требуется сменного диска. Обкат создается эвольвентным кулаком 1, толкателем 2 и рычагом 3, который приводит в движение измерительную

картку 4 с наконечником 6. Настройка универсальных эвольвентомеров на радиус основной окружности r_b производится по блокам концевых мер длины (плиткам) 5, по стеклянной линейной шкале и отсчетному микроскопу (рис. 9.15).

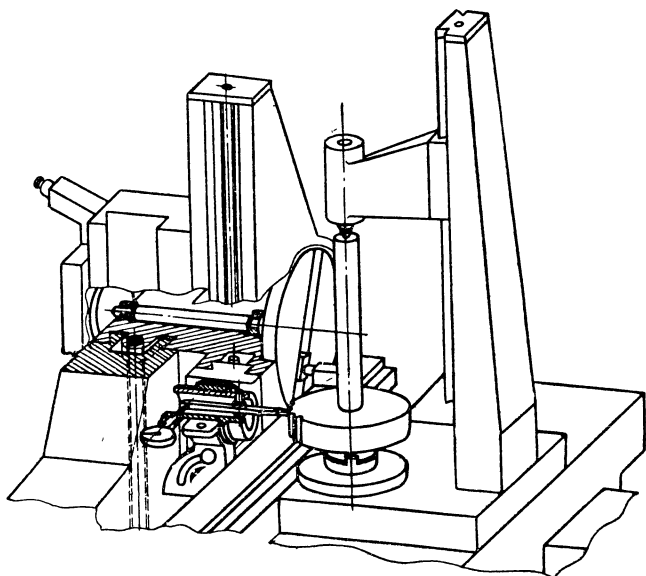


Рис. 9.14

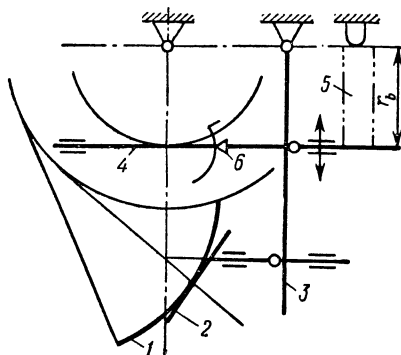


Рис. 9.15

При технологическом контроле общую погрешность профиля делят на неточность, вызванную эксцентриситетом колеса, и на собственно погрешность профиля, связанную с неправильностью наладки техно-

логической операции (например, зубошлифования). Для исключения части погрешности профиля, возникающей от радиального биения колеса, необходимо измерить три-четыре профиля зубьев, равномерно расположенных по зубчатому венцу, и по средним значениям погрешностей профиля для каждого угла развернутости определить собственно погрешность профиля f_{fm} (в мкм).

Погрешность угла f_{α} инструмента, заправки круга или установки шлифовального круга (в угловых минутах) определяется из соотношения (при $\alpha = 20^\circ$)

$$f_{\alpha} = -9,45 \frac{f_{fm}}{\rho_a - \rho_i}$$

или

$$f_{\alpha} = -540 \frac{f_{fm}}{(\varphi_a - \varphi_i) r_b},$$

где $\rho_a - \rho_i$ — длина перемещения измерительной каретки эвольвентомера в мм; $\varphi_a - \varphi_i$ — угол поворота колеса при контроле профиля на эвольвентомере в градусах.

Погрешность радиуса f_{rb} (в мкм) основной окружности определяется из формул

$$f_{rb} = f_{fm} \frac{r_b}{\rho_a - \rho_i}$$

или

$$f_{rb} = f_{fm} \frac{57}{\varphi_a - \varphi_i}.$$

Проверка направления зуба

Оценка точности боковой поверхности зубьев с точки зрения контакта поверхностей в передаче может быть выполнена отдельным контролем элементов, определяющих продольный и высотный контакты зубьев колеса, или комплексным контролем пятна контакта.

Продольный контакт у широких косозубых колес контролируется приборами для проверки осевого шага по отклонению суммы осевых шагов на ширине колеса.

Для узких косозубых колес применяются ходомеры БВ-5034 (табл. 9.2), контролирующие ход винтовой линии боковой поверхности зубьев. В приборе БВ-1089 (рис. 9.16) измерительный суппорт 1 с наконечником 2 совершают относительно колеса движение по винтовой линии, имеющей ось, совпадающую с осью зубчатого колеса 3. Дополнительное движение наконечника, контактирующего с поверхностью зуба, отмечается индикатором 4 или самописцем. Настройка прибора производится по ходу винтовой поверхности с помощью сменного диска 5, обкатной линейки 6 и поворотной шайбы 7 с пазом, устанавливаемой угловым лимбом, встроенными в прибор БВ-1089 (табл. 9.2).

Высотный контакт зубьев контролируется контактомером 1 и 2. Различают контактомеры универсальные, контактомеры прямолинейности и контактомеры направления.

Универсальный контактомер прибора БВ-5028 (табл. 9.2) служит для измерения отклонений контактной линии от прямолинейности и от заданного направления $A-A$ (рис. 9.17). Тан-

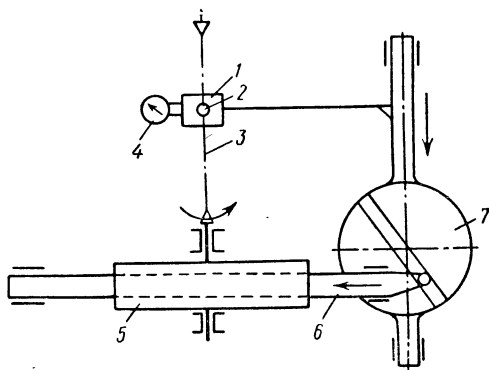


Рис. 9.16

генциальному измерительному наконечнику сообщается перемещение вдоль длины зуба по направлению $B-B$, составляющему с осью колеса $I-I$ угол скрещивания, равный углу наклона зубьев β_b на основном цилиндре. По этому углу настраивается прибор.

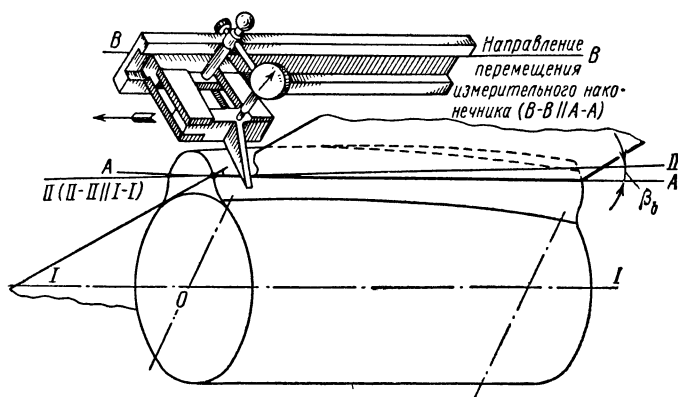


Рис. 9.17

Отклонение в направлении контактной линии или отступление от прямолинейности ее вызывает дополнительное движение наконечника, фиксируемое показывающим устройством.

Длина перемещения наконечника определяется по формуле

$$l_b = \frac{2m_n}{\sin \alpha_t \sin \beta_b},$$

где m_n — модуль нормальный в мм; α_t — угол исходного контура в торцовом сечении; β_b — угол наклона зуба на основном цилиндре.

Контактомеры прямолинейности выпускались ранее ЧЗМИ; они служат для контроля отклонений контактной линии от прямолинейности. Прибор накладного типа состоял из зуба рейки (рис. 9.18), устанавливаемого в одну из впадин между зубьями колеса. Ножевидный измерительный наконечник, имеющий грань, параллельную боковой поверхности зуба рейки, перемещается вдоль зуба рейки, соприкасаясь с поверхностью соседнего или того же зуба контролируемого колеса. Непрямолинейность контактной линии контролируемого колеса вызывает смещение измерительного наконечника, отсчитываемое по индикатору.

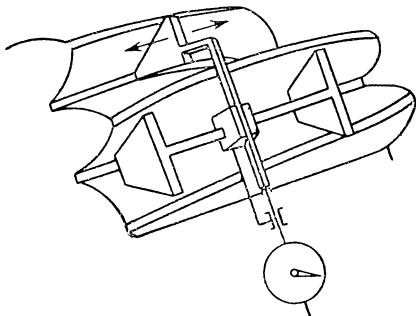


Рис. 9.18

Длина перемещения измерительного наконечника, имеющего угол наклона, равный α , отличается от длины перемещения для универсального контактомера и определяется из формулы

$$l = \frac{4m_n}{\sin 2\alpha_t \sin \beta},$$

где β — угол наклона зуба на делительном цилиндре.

Проверка непараллельности направления образующей зуба прямозубого колеса относительно оси колеса может производиться с помощью ролика (мерного валика), закладываемого во впадины между зубьями. При этом колесо, посаженное на оправку, устанавливается в центровые бабки и индикатором, укрепленным на штативе, проверяется параллельность ролика к плоскости плиты, на которой установлены центровые бабки. Проверка производится в двух положениях ролика: над осью колеса и при расположении его в горизонтальной плоскости, проходящей через ось колеса.

Контроль направления зуба прямозубого колеса может выполняться на приборе БВ-986 (табл. 9.2), а также на любом устройстве, имеющем центры и каретку, перемещающуюся точно параллельно оси центров.

Контроль пятна контакта при обкатке с парным или измерительным колесом обычно производится на универсальном контрольно-обкаточном станке (табл. 9.2), выпускаемом Саратовским заводом зуборезных тяжелых станков.

Измерение смещения исходного контура и толщины зуба

Для выявления боковых зазоров между зубьями, возникающих в передаче, проверяется радиальное положение исходного контура относительно оси колеса, которое характеризует дуговую толщину зубьев.

Для проверки применяются: тангенциальные зубомеры для определения радиального положения исходного контура относительно оси колеса; индикаторные и микрометрические скобы, проверяющие длину общей нормали при обхвате нескольких зубьев; штангензубомеры для измерения длины хорды зуба на заданной высоте от окружности выступов и ролики с универсальными средствами измерения.

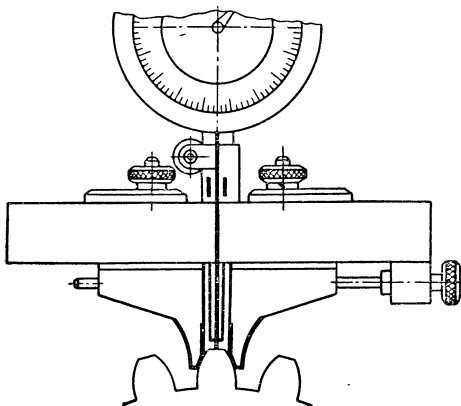


Рис. 9.19

Тангенциальные зубомеры выпускаются ЛИЗ (табл. 9.2 и рис. 9.19). Они снабжены двумя губками с измерительными гранями, составляющими угол, равный двойному углу зацепления. По биссектрисе угла расположена ось индикатора или микрометрической головки. Настройка прибора производится по роликам. Показания индикатора при измерении зубчатого колеса соответствуют смещению исходного контура от его номинального положения. При измерении тангенциальным зубомером необходимо учитывать отклонение диаметра окружности вершин, используемой в качестве базы измерения (см. главу первую, табл. 1.72).

Индикаторные и микрометрические скобы (рис. 9.11 и 9.12) используются так же, как и для измерения колебания длины общей нормали, но с предварительной настройкой скобы на расчетный размер длины общей нормали по плоскопараллельным концевым мерам. Имеются также скобы с абсолютным отсчетом, не требующие предварительной настройки (табл. 9.2).

Зубомеры кромочные индикаторные ЗИМ-16 и ЗИМ-32 (табл. 9.2) имеют две взаимно перпендикулярные микрометрические головки: одну для установки высоты измерения и другую для измерения хорды зуба (рис. 9.20). Измерение производится относитель

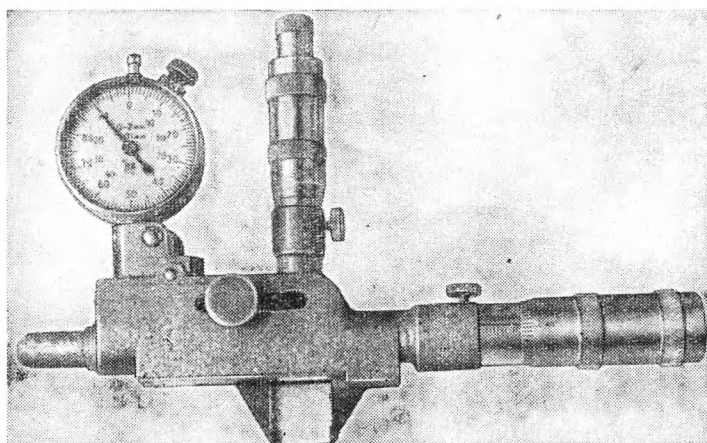


Рис. 9.20

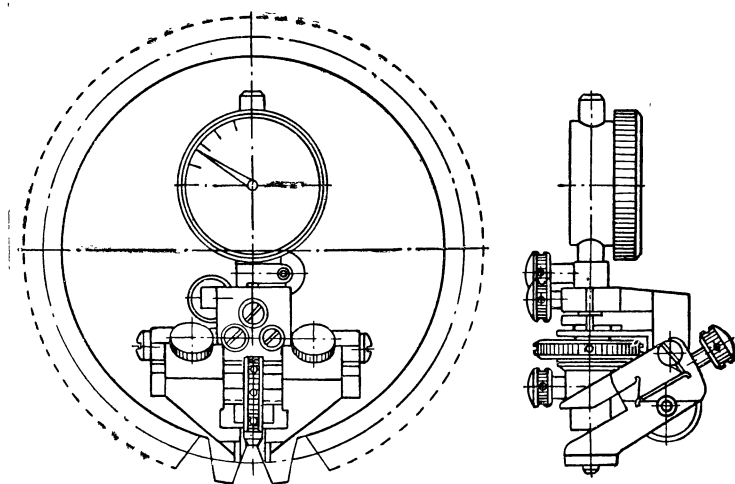


Рис. 9.21

ным методом, обычно по постоянной хорде зуба. Зубомеры снабжаются индикатором с ценой делений 0,01 мм для отсчета отклонения длины хорды от расчетной величины.

Иногда применяются штангензубомеры с нониусом или с оптической шкалой — оптические зубомеры.

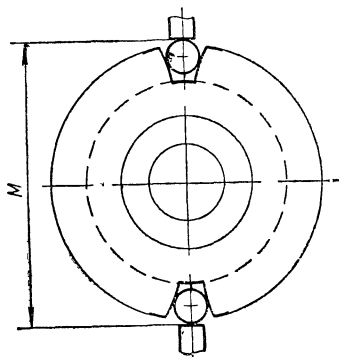


Рис. 9.22

В качестве базы измерения используется окружность вершин зубчатого колеса; отклонения в диаметре окружности влияют на показания прибора и должны учитываться (см. главу первую, табл. 1.72).

Для контроля толщины зуба колес внутреннего зацепления ЛИЗ выпускает зубомеры кромочные для колес внутреннего зацепления БВ-5016К и БВ-5017К (табл. 9.2), измеряющие радиальное положение хорды заданной длины относительно окружности вершин (рис. 9.21).

Измерение размеров толщины зубьев может выполняться также универсальными измерительными средствами: микрометром, измеря-

ющим размер поверх роликов, закладываемых в диаметрально противоположные впадины между зубьями (рис. 9.22), и жесткими предельными двусторонними гладкими скобами, размеры которых выполнены по предельным величинам длины общей нормали.

3. ИЗМЕРЕНИЕ И КОНТРОЛЬ КОНИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Общие сведения

Сложность геометрических форм конических зубчатых колес, особенно тангенциальных и с криволинейной линией зубьев, — круговых и паллоидных — вынуждает в производственных условиях ограничиваться комплексной их проверкой в зацеплении с измерительной шестерней или проверкой зацепления в паре и в некоторых случаях дополнительно проверять биение зубчатого венца.

Позлементная проверка конических зубчатых колес производится в редких случаях, в основном с целью выявления по изделию погрешностей технологического процесса.

Для контроля конических зубчатых колес применяются специальные и универсальные измерительные средства (табл. 9.3).

Для проверки кинематической и циклической погрешностей конических зубчатых колес в СССР пока еще не выпускаются специальные приборы.

Для измерения накопленной погрешности окружного шага конических зубчатых колес могут быть использованы приборы для контроля углового шага зубчатых колес БВ-5015 и подобный прибор для мелкомодульных колес БВ-5035 (табл. 9.2). Эти приборы имеют спе-

ТАБЛИЦА 9.3

Средства измерения конических зубчатых колес

Измеряемый элемент	Средства измерения	
	специальные	универсальные
Кинематическая и циклическая погрешности	Приборы для комплексного однопрофильного контроля	—
Накопленная погрешность окружного шага	Угловые шагомеры	Теодолиты; лимбы; делительные диски; делительные головки — все с применением рычажно-чувствительного прибора
Комплексная проверка с измерительной шестерней	Приборы для проверки смещения оси или измерения межосевого угла	—
Биеение зубчатого венца	Биеенимеры	Плита с центрами; ролик и рычажно-чувствительный прибор
Окружной шаг	Шагомеры для окружного шага	—
Пятно контакта и направление зуба	Контрольные обкатные станки; специальные шпильки	—
Толщина зуба	Штангензубомеры; предельные шаблоны; угловые шагомеры	—

циальные измерительные каретки, позволяющие устанавливать плоскость измерения перпендикулярно образующей делительного конуса.

Приборы ШМ-1 и ШМ-2 (ЧЗМИ) для контроля окружного шага и накопленной погрешности на угле 180° (табл. 9.2) могут быть применены только для конических шестерен с малым углом при вершине делительного конуса.

Для измерения шага конических колес могут применяться шагомеры для окружного шага БВ-5043 и БВ-5044 (табл. 9.2).

Комплексная проверка при двухпрофильном зацеплении

Комплексная проверка в двухпрофильном зацеплении с измерительной шестерней широко применяется при контроле конических зубчатых колес и во многих случаях является единственной в производственных условиях.

По принципу проверки различают приборы, в которых погрешности изготовления колес вызывают изменение угла пересечения осей между измерительной шестерней и проверяемым колесом при вращении последнего (рис. 9.23), и приборы, в которых неточности проверяемого колеса вызывают смещение оправки с измерительной шестерней по направлению, перпендикулярному оси оправки, т. е. параллельному

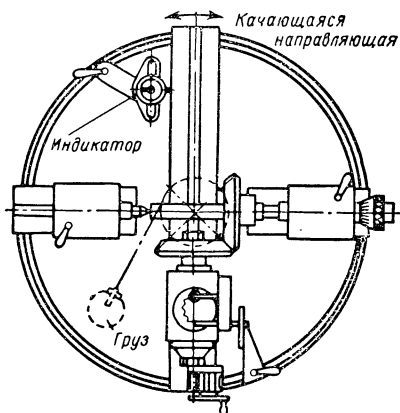


Рис. 9.23

оси колеса. Более целесообразным является применение приборов с изменяющимся углом пересечений осей, так как при проверке не нарушается прилегание зубьев по их длине.

Приборы для комплексной проверки используются также для контроля пятна прилегания между боковыми поверхностями зубьев колес по краске или бликам; при этом оба суппорта закрепляются в положении, обеспечивающем номинальное положение опорных торцовых поверхностей колес от точки пересечения осей оправок.

Комплексное двухпрофильное измерение кониче-

ских зубчатых колес может выполняться на приборах ЧЗМИ МЦМ-160, МЦМ-320М, МЦМ-400Б и БВ-5029 (табл. 9.2), которые снабжены специальными кронштейнами, обеспечивающими пересечение осей шестерни и колеса под прямым углом и параллельное смещение оси шестерни. При проверке конических колес эти приборы характеризуются дополнительными данными:

Шифр прибора	МЦМ-160	МЦМ-320М
Расстояние от горизонтальной оси колеса до базового торца сопряженного колеса в мм . . .	20—100	45—175
Расстояние от вертикальной оси колеса до базового торца сопряженного колеса в мм . . .	10—110	25—275

Измерение биения зубчатого венца

Биение зубчатого венца конических зубчатых колес может быть измерено на биениемерах типов 25 002 (табл. 9.2, п. 15) и Б-10М (табл. 9.2, п. 16 — для конических колес диаметром 60—400 мм и с углом делительного конуса до 60°), а также на универсальных приборах БВ-5015 и БВ-5035 (табл. 9.2).

Измерение производится в направлении, перпендикулярном образующей делительного конуса колеса.

Проверка пятна контакта и направления зубьев

Точность выполнения боковой поверхности зубьев конических колес обычно проверяется на универсальных и специальных контрольно-обкатных станках Саратовского завода зуборезных станков (табл. 9.2).

Подобные станки имеют две бабки, оси которых устанавливаются в соответствии с углом между осями передачи. Кроме того, бабки смещаются вдоль осей для обеспечения базовых расстояний торцов колес от точки пересечения осей. Шпиндель одной из бабок вращается электродвигателем, а шпиндель второй бабки нагружается тормозом. После кратко-

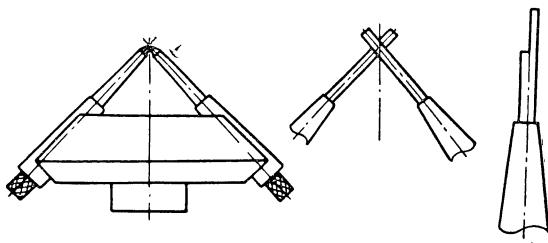


Рис. 9.24

временного вращения зубчатой пары на зубьях проверяют размеры и расположение следов пятна контакта. Для достижения требуемого пятна контакта регулируют положения бабок и по результатам ведут подналадку зубообрабатывающего станка.

Проверку направления зубьев прямозубых колес проводят в редких случаях на специальных приборах или же двумя шпильками, имеющими острия или плоские срезы (рис. 9.24).

Измерение толщины зубьев

Проверка толщины зубьев конических колес производится на контрольно-обкатном станке по величине бокового зазора при зацеплении с измерительной шестерней или колесом.

В процессе нарезания зубьев и при единичном изготовлении конических колес толщина зубьев обычно проверяется штангензубомером у заднего дополнительного конуса или на заданном от него расстоянии (5—10 мм). Штангензубомер целесообразно снабдить специальной планкой-упором, которая обеспечивает измерение толщины зуба на постоянном расстоянии от заднего дополнительного конуса.

Измерение толщины зубьев конических колес может производиться на биениемерах 25 002 и Б-10М ЧЗМИ (табл. 9.2) при условии снабжения приборов упором для координации базового торца колеса в осевом направлении.

4. ИЗМЕРЕНИЕ И КОНТРОЛЬ ЧЕРВЯКОВ И ЧЕРВЯЧНЫХ КОЛЕС

Контроль элементов зацепления червяков и червячных колес производится измерительными средствами, указанными в табл. 9.4.

ТАБЛИЦА 9.4

Средства измерения червяков и червячных передач

Измеряемый элемент	Средства измерения	
	специальные	универсальные
Винтовая линия червяка и винтовая поверхность	Приборы для проверки винтовой линии червяка	—
Осевой шаг червяка	Приборы для проверки осевого шага червяка	Универсальный микроскоп; инструментальный микроскоп; проекторы
Профиль червяка	Профилемеры для червяков	Плита с центрами; угловые плитки и рычажно-чувствительный прибор; проекторы; универсальный микроскоп; инструментальный микроскоп
Биеение витков червяка	Плита с центрами и направляющей для стойки с индикатором	Универсальный и инструментальный микроскопы; проекторы
Толщина витка червяка	Штангензубомеры; тангенциальные зубомеры; модульные седла; предельные шаблоны	Три ролика и миниметр; ролик и миниметр
Комплексная проверка передачи с измерительным червяком в двухпрофильном зацеплении	Приборы для проверки колебания межосевого расстояния	—

Измерение винтовой линии червяка

Проверка винтовой линии червяка сводится к сопоставлению хода винтовой линии червяка с номинальной величиной хода. При проверке червяк вращается, а суппорт с измерительным наконечником, соприкасающимся с боковой поверхностью витка, перемещается параллельно оси червяка в соответствии с номинальной величиной хода. При отличии действительного и номинального ходов червяка измерительный наконечник получает перемещение относительно суппорта, фиксируемое рычажно-чувствительным прибором или самописцем.

Приборы для указанной проверки разделяются на настраиваемые на номинальный ход винтовой линии и приборы, в которых используется сменный измерительный червяк с таким же ходом, как и у проверяемого червяка.

Прибор для контроля червячных мелко-дульных фрез, выпускаемый ЧЗМИ, воспроизводит винтовую линию с помощью фрикционной передачи с перекрещивающимися осями, встроенной в прибор (рис. 9.25). Совместно с фрикционным цилиндром вращается и контролируемый червяк. Осевое перемещение цилиндра и червяка в направлении, параллельном оси проверяемого червяка, создается за счет фрикционного ролика с устанавливаемым углом перекрещивания его оси. Настройка по ходу винтовой линии осуществляется изменением угла перекрещивания по лимбу и микроскопу. Максимальный угол поворота ведущего ролика 110° .

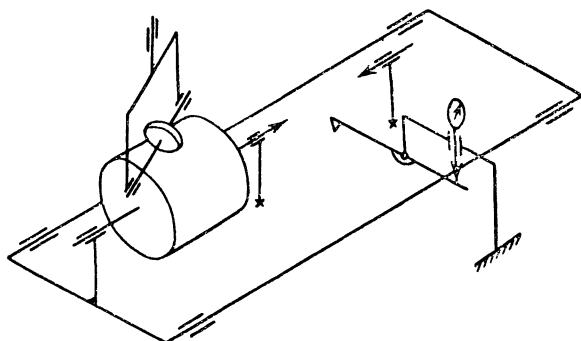


Рис. 9.25

Прибор позволяет контролировать винтовую линию на трех и всех витках фрезы, винтовую линию стружечных канавок, накопленную погрешность шага канавок, радиальность передней поверхности фрезы и биения по наружной поверхности и буртикам. Техническую характеристику прибора см. в табл. 9.5.

Прибор для комплексного контроля червяков и червячных фрез мелких и средних модулей БВ-5005 (рис. 9.26) имеет фрикционную пару диск 5 — линейка 6, связывающую вращательное движение фрезы или червяка, установленных между центрами стойки 3, и поступательное движение продольной каретки 7. На продольной каретке расположена линейка 4, которая вызывает движение вертикальной каретки 8 вдоль осевой линии изделия. Таким образом создается винтовое движение измерительного наконечника относительно изделия. Настройка на шаг винтовой линии осуществляется установкой наклона линейки 4 по принципу синусной линейки.

Для контроля действующей погрешности по линии зацепления имеется наклонная направляющая 1, настраиваемая по углу профиля червяка или фрезы и перемещающая измерительную каретку 2 вдоль профиля витка.

На приборе также возможен контроль элементов заточки, биения буртов и торцов и др. Техническая характеристика прибора дана в табл. 9.5.

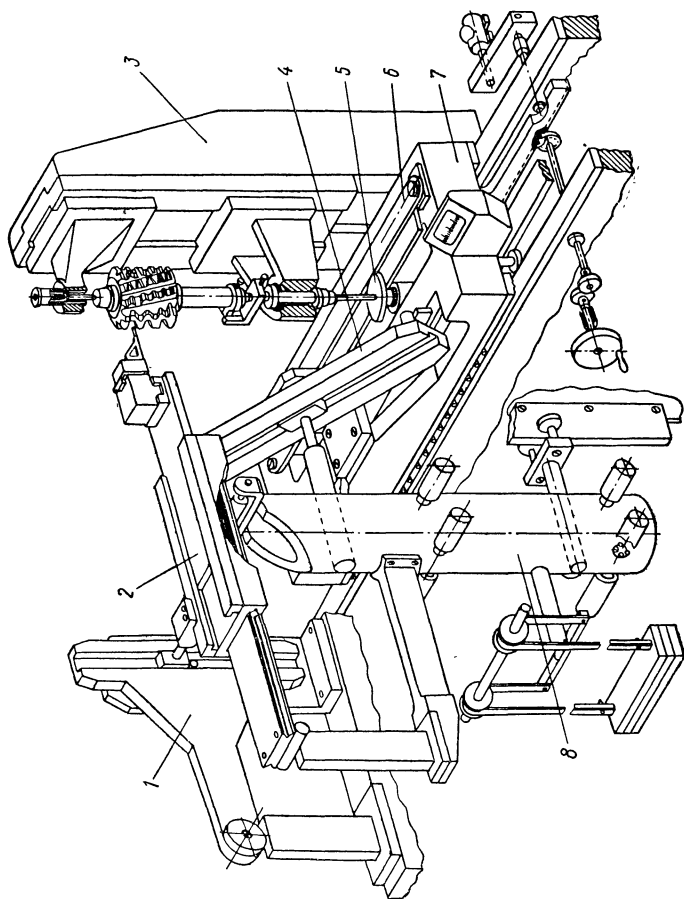


Рис. 9.26

ТАБЛИЦА 9.5

Приборы для контроля червяков, выпускаемые ЧЗМИ

Наименование	Шифр	Техническая характеристика							Дополнительные данные
		m	d	l	Цена деления в мм	Погрешность в мм	Масса в кг	Габариты в мм	
Прибор для контроля червячных мелко модульных фрез	БВ-1025	0,3—2	20—100	40—270	Увеличение от 500 : 1 до 5000 : 1	—	—	1045×735×640	Электропривод; самописец. Контроль винтовой линии, шага стружечных канавок, элементов заточки
Прибор для комплексного контроля червяков и червячных фрез мелких и средних модулей	БВ-5005	1—20	40—250	—	—	—	—	—	Контроль винтовой линии, производящей поверхности, элементов заточки
Прибор для элементного контроля червячных фрез	19295	2—20	40—250	750	0,001	0,003	960	1500×750×740	Контроль осевого шага, элементов заточки, шага винтовых стружечных канавок, профиля
Прибор для контроля заточки червячных фрез	19295, 2-е исполнение	2—20	40—240	750	0,001	0,003	960	1500×750×740	—

Ход винтовой линии червяка может быть также проверен на эвольвентомере и ходомере БВ-1089 (табл. 9.2) и на универсальном контактомере БВ-5028 (табл. 9.2).

Измерение осевого шага червяка

Осевой шаг проверяется в сечении червяка, проходящем через его ось, по линии, параллельной оси червяка. Проверка производится путем сопоставления действующего расстояния между одноименными профилями витка с номинальным расстоянием (осевым шагом) между соседними витками, отстоящими друг от друга на 3—5 осевых шагов или же на величину хода винтовой поверхности (для многозаходных червяков).

Проверка выполняется:

а) с помощью универсальных измерительных средств — универсального и инструментального микроскопов, а также проекторов, при этом методы контроля аналогичны контролю шага резьбы;

б) с применением специальных приборов для измерения осевого шага червяка.

Прибор для поэлементного контроля червяков и червячных фрез 19295 (см. табл. 9.5) выпускается ЧЗМИ. Он снабжен стеклянной шкалой для отсчета осевого перемещения измерительной каретки, угломерным диском, двумя синусными линейками и сменными делительными дисками.

На приборе могут проверяться осевой шаг, профиль, ход винтовых канавок, элементы заточки. Профиль контролируется по затылованной поверхности по кривой, равноудаленной от режущей грани. На приборе возможен контроль проекции нормального шага на ось.

Проверка угла и формы профиля червяка

Проверка профиля червяка производится в сечении, имеющем прямолинейный профиль: для архимедовых червяков — в осевом сечении; для эвольвентных — в сечении, параллельном осевому и отстоящем от него на величину радиуса направляющего (основного) цилиндра; для конволютных червяков — в сечении, нормальном к средней винтовой линии витка или впадины на делительном цилиндре. При проверке определяются как отступления в направлении прямой линии, т. е. погрешности угла профиля, так и непрямолинейность профиля витка, т. е. отклонения формы профиля.

Проверка выполняется:

а) с помощью универсальных средств — универсального и инструментального микроскопов или проекторов — теми же методами, что и угла профиля резьбы; при отсутствии специальных приборов для модулей св. 4 иногда используют плиту с центрами, угловые плитки и рычажно-чувствительное устройство, фиксирующее отступление в прямолинейности и угле профиля по отношению к углу угловой плитки;

б) с применением специальных профиломеров для измерения червяков и червячных фрез путем прикладывания к поверхности витка линейки и глазомерной оценки величины просвета либо измерением отклонений действительного профиля витка от прямой линии заданного направления, воспроизводимой измерительным наконечником при его движении.

Приборы, выпускаемые ЧЗМИ (см. табл. 9.5), имеют измерительную каретку,двигающуюся под углом профиля червяка и используемую для проверки отклонения направления и прямолинейности профиля червяков.

Настройка приборов сводится: к установке угла между направлением перемещения измерительного наконечника и проекцией оси червяка и к установке измерительного наконечника по высоте в приборах, допускающих измерение архимедовых и эвольвентных червяков. В приборе 19295 настраиваются две синусные линейки по углу профиля и ходу винтовой линии.

Проверка биения витков червяка

Контроль биения витков червяка для червяков малых модулей и диаметров производится на универсальном или инструментальном микроскопе, а также на проекторах. Червяк устанавливается в центрах, и при различных его угловых положениях определяется величина радиального смещения линии, на которой толщина витка равна ширине впадины.

Биение витков червяка средних модулей проверяется путем сопоставления радиальных расстояний от сферы, закладываемой между витками, до оси червяка при различных угловых положениях последнего.

Проверка толщины витка червяка

Измерение толщины витка червяка небольших диаметров и модулей осуществляется по методу трех проволочек, применяемому при проверке среднего диаметра резьбы.

В некоторых случаях червяк устанавливается в центрах, и в его впадинах закладывается ролик или шарик, укрепленный на рукоятке, с которым соприкасается плоский наконечник миниметра или индикатора. Предварительно прибор настраивается по блоку плитки от аттестованной по диаметру оправки, устанавливаемой в центрах.

Для червяков больших диаметров и модулей применяются зубомеры (штангензубомер и тангенциальный зубомер), измеряющие толщину витка червяка на определенной высоте от его наружного цилиндра.

Для контроля червяков грубой точности применяются предельные шаблоны с проходной (ПР) и непроходной (НЕ) сторонами, выполненные по одной из форм, показанных на рис. 9.27.

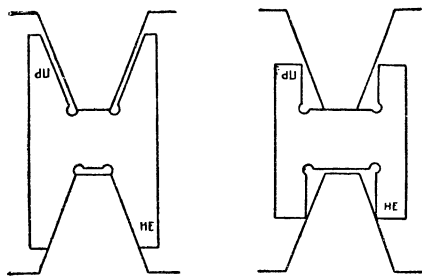


Рис. 9.27

Контроль элементов колеса

Измерение всех элементов червячного колеса производится на тех же приборах, что и соответствующих элементов цилиндрических зубчатых колес. Обычно проверка элементов выполняется в среднем сечении

колеса, только профиль колес эвольвентных червячных передач, контролируемый в редких случаях, проверяется в сечении, отстоящем от средней плоскости колеса на расстоянии, равном радиусу основного цилиндра червяка.

Комплексное изменение колес в двухпрофильном зацеплении с измерительным червяком может производиться на приборах МЦМ-160, МЦМ-320М и БВ-5029, снабженных специальными устройствами для измерения червячных передач. В дополнение к техническим характеристикам (см. табл. 9.2) при контроле червячных передач приборы имеют следующие характеристики:

	МЦМ-160	МЦМ-320М
Расстояние от оси червяка до базового торца колеса в мм	0—70	13—143
Расстояние от оси червяка до оси колеса в мм	0—110	0—223
Диаметр червяка (наибольший) в мм	40	100
Наибольшая длина червяка в мм	130	240

5. КОНТРОЛЬ ШУМОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС И ПАР

Ответственные высокоскоростные зубчатые колеса и пары авто-, авиа-, станкостроения и других отраслей при их приемке или в целях подбора пар (спаривания) подвергаются испытанию на шум.

Проводятся испытания: отдельных зубчатых колес при зацеплении с измерительным зубчатым колесом; зубчатых пар при зацеплении шестерни и колес, спариваемых для работы в машине; собранных корбоек зубчатых передач, редукторов и др.

Испытания стремятся выполнять при рабочих числах оборотов зубчатых колес с малой нагрузкой (вхолостую) или с крутящим моментом, приближающимся к рабочему.

Для испытаний зубчатых колес и зубчатых пар применяются испытательные стенды — контрольные шумовые станки. В табл. 9.6 приведены некоторые технические характеристики этих станков.

Стенд состоит из станины и верхней коробки, несущих два шпинделя на опорах скольжения, электродвигателя и ременной передачи и тормоза. Межосевое расстояние между шпинделями с закрепленной на них испытываемой зубчатой парой создается смещением верхней коробки относительно станины и установкой этого расстояния по блоку концевых мер. Тормозом создается регулируемый момент сопротивления на ведомом шпинделе.

Шум, возникающий при работе зубчатой пары, может оцениваться субъективно на слух или объективно с помощью шумомеров.

При субъективных методах испытаний оценивается: уровень шума (слабый, средний, повышенный, сильный), тон (вой, свист, шелест) и характер шума (стук, дробь, «горох»).

Методы объективного определения шумовых характеристик регламентируются ГОСТ 11870—66 «Машины. Шумовые характеристики и методы их определения». В практике контроля зубчатых колес измеряются общий уровень звукового давления в дБ и октавные уровни звукового давления в октавных полосах или уровни звукового давления при определенных частотах, например зубцовой частоте (равной числу вхождений зубьев за секунду), двухзубцовой, трехзубцовой частоте.

ТАБЛИЦА 9.6

Техническая характеристика контрольно-шумовых станков, выпускаемых заводом «Комсомолец»

Основные данные	Модели			
	579, 5791	5792	5798	5799М
Наибольший диаметр зубчатого колеса в мм	200	250	400	520
Расстояние между осями в мм	85—130	90—155	130—220	170—500
Расстояние между торцами шпинделей в мм	150—380	250—420	180—400	235—380
Конус переднего шпинделя	1 : 5	1 : 5	1 : 5	1 : 5
Конус заднего шпинделя	Морзе № 2	Морзе № 2	Морзе № 3	Морзе № 5
Наибольшее смещение верхней коробки для развода осей в мм	100	—	180	—
Число скоростей	2	—	2	4
Число оборотов ведущего шпинделя в минуту	750—1500	700—1400	500—4000	654, 988 1317, 1990

Спектрограмма уровней на различных частотах анализируется для установления источника повышенного шума.

П р и м е ч а н и е. Децибел (дБ) — относительная единица, применяемая для измерения звукового давления. Уровень звукового давления в децибелах определяется по формуле

$$L = 20 \lg \frac{p}{p_0},$$

где p — среднеквадратическое значение звукового давления в точке измерения в Па; p_0 — пороговая величина звукового давления, равная $2 \cdot 10^{-5}$ Па. Ухо человека на средних звуковых частотах не воспринимает звукового давления ниже 10^{-5} Па.

Для контроля шума зубчатых передач применяются шумомеры с переключаемыми полосовыми фильтрами, при этом измерительный тракт состоит из измерительного микрофона, усилителя, полосовых фильтров, индикаторного прибора и самописца уровня. Ширина полосы пропускания шумомера или частотного анализатора должна быть равной одной октаве. Допускается по ГОСТ 11870—66 применение приборов с шириной пропускания, равной половине или трети октавы. Значения граничных частот октавных полос в Гц: 45—90; 90—180; 180—355; 355—710; 710—1400; 1400—2800; 2800—5600; 5600—11 200 и соответственно среднегеометрических частот в Гц.

При измерении микрофон обычно устанавливается на расстоянии 1 м от измеряемого источника шума.

Изготавливаемые в СССР [10] шумомеры типов Ш-ЗМ, Ш-63, МИУ-5 характеризуются диапазоном измеряемых уровней 24—150 дБ и ча-

стотным диапазоном 40—8000 Гц. К шумомеру Ш-3М подключается $1/3$ -октавный анализатор АШ-2М с диапазоном 37—11 000 Гц (8 октав), с числом полосовых фильтров 25 и с отсчетом показаний по стрелочному прибору; к остальным двум шумомерам — $1/2$ -октавный фильтр ПФ-1 с диапазоном 45—23 000 Гц (9 октав) и с числом полосовых фильтров 16.

В диапазоне частот измерения должно учитываться влияние помех, создаваемых измерительным стендом, системой привода станда, независимо действующими вспомогательными узлами и механизмами и другими окружающими источниками шума. Если уровень звукового давления общего шума, включающий в себя шум испытуемой зубчатой пары и помех, превышает уровень помех в частотной полосе на 10 дБ и более, то помехи можно не учитывать. Если это превышение меньше 10 дБ, то для учета помех необходимо из уровня звукового давления общего шума вычесть поправку ΔL , равную 1 дБ, при разности между уровнем звукового давления общего шума и уровнем помех в октавной полосе от 9 до 6 дБ и $\Delta L = 2$ дБ при разности от 5 до 4 дБ.

При разности $L_{\text{сум}} - L_{\text{ном}}$ менее 4 дБ или сильно колеблющемся уровне помех проведение измерения недопустимо. Допустимые уровни звукового давления устанавливаются заводскими или отраслевыми стандартами в зависимости от типа машин, их мощности и других требований. На малых частотах (63 Гц) допускается уровень звукового давления ~ 90 —110 дБ и при высоких частотах (8000 Гц) допускается уровень ~ 65 —85 дБ.

Список литературы

1. Калашников Н. А. Повышение точности измерения зубчатых зацеплений: М., Машгиз, 1958, 160 с.
2. Контроль средств измерения зубчатых колес. Сборник материалов и инструкций Комитета стандартов, мер и измерительных приборов. М., Стандартгиз, 1959, 182 с.
3. Лйвиц Г. А. Контроль кинематической точности прецизионных зубчатых колес. В кн.: Взаимозаменяемость и технические измерения в машиностроении. — Межвузовский сборник № 2. М., Машгиз, 1960, 543 с.
4. Марков А. Л. Измерение зубчатых колес. Л., «Машиностроение», 1968, 308 с.
5. Марков Н. Н. Зубоизмерительные приборы. М., «Машиностроение», 1965, 167 с.
6. Марков Н. Н., Кайнер Г. Б., Сацердотов П. А. Погрешность и выбор средств при линейных измерениях. М., «Машиностроение», 1967, 392 с.
7. Справочник металлиста. Т. 2. М., Машгиз, 1958, 974 с.
8. Тайц Б. А. Точность и контроль зубчатых колес. М., «Машиностроение», 1972, 367 с.
9. Тайц Б. А. и Марков Н. Н. Нормы точности и контроль зубчатых колес. Л., Машгиз, 1962, 104 с.
10. Алексеев С. П., Казаков А. М., Колотилов Н. Н. Борьба с шумом и вибрацией в машиностроении. М., «Машиностроение», 1970, 208 с.

ГЛАВА ДЕСЯТАЯ

ИЗМЕРЕНИЕ ОТКЛОНЕНИЙ ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ

1. ИЗМЕРЕНИЕ НЕПРЯМОЛИНЕЙНОСТИ И НЕПЛОСКОСТНОСТИ

Измерение поверочными линейками и плитами

Измерение непрямолинейности производится поверочными линейками (ГОСТ 8026—64) типов ЛД, ЛТ и ЛЧ (табл. 10.1) «на просвет» и линейками типов ШП, ШД и ШМ — методом линейных отклонений.

При проверке «на просвет» для сравнения используют образец просвета (рис. 10.1). Погрешность измерения примерно 1—3 мкм.

При измерении по методу линейных отклонений линейку укладывают на две одинаковые опоры, расположенные на проверяемой поверхности, и определяют расстояния от линейки до поверхности с помощью шупов, концевых мер длины или специального прибора с измерительной головкой. Опоры располагают на расстоянии 0,21 длины линейки от ее концов.

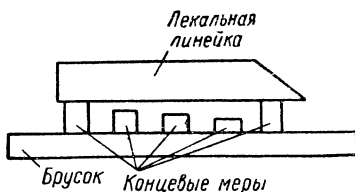


Рис. 10.1

Проверка плоскостности производится поверочными линейками типов ШП, ШД, ШМ и УТ «на краску» и плитами (ГОСТ 10905—64) «на краску» и методом линейных отклонений («от плиты»). При проверке «на краску» линейку или плиту, покрытую тонким слоем краски (смесь берлинской лазури или турунбулевой сини с машинным маслом), перемещают по проверяемой поверхности. Отклонения от плоскостности определяют по числу пятен краски в квадрате со стороной 25 мм, оставшихся на выступах проверяемой поверхности (табл. 10.2). Погрешность проверки примерно 3—5 мкм.

Условия применения линеек и плит указаны в табл. 10.3 и 10.4.

Фирмы «Johanson», «Metron» (Швеция), «Carl Mahr» (ФРГ), «Rank Taylor Hobson» (Англия) и др. выпускают плиты из гранита, отличающиеся большой твердостью и высокой износостойкостью. Условия применения таких плит указаны в [7].

Проверка поверочных линеек и плит производится методами, указанными в ГОСТ 12332—66 и Методических указаниях № 287 Комитета стандартов, мер и измерительных приборов при СМ СССР.

ТАБЛИЦА 10.1

Поверочные линейки
(по ГОСТ 8026—64)

Тип линейки	Обозначение	Эскиз	Класс точности	Длина лисек в мм	Преимущественный метод проверки изделий
Лекальные	С двусторонним скосом		0 и 1	80, 125, 200, 320 (500)	Метод световой щели («на про-свет»)
	Трехгранные		0 и 1	200, 320	
	Четырехгранные		0 и 1	200, 320 (500)	
С широкой рабочей поверхностью	Прямоугольного сечения		0,1 и 2	400, 630, 1000	Метод линейных отклонений. Метод «на краску»
	Двуставрового сечения		0,1 и 2 1 и 2	630, 1000 1600, 2500, 4000	
	Мостики		0,1 и 2 1 и 2	400, 630, 1000 1600, 2500, 4000	
Угловые трехгранные (клинья)	УТ		1 и 2	630, 1000	

ТАБЛИЦА 10.2

Примерное число пятен краски

Минимальное число пятен в квадрате 25×25 мм	Степень точности проверяемых поверхностей (по ГОСТ 10356—63)
Св. 20 до 30	III—IV
» 12 » 20	V—VI
» 5 » 12	VII—VIII
До 5	IX—X

ТАБЛИЦА 10.3

Условия применения поверочных линеек [7]

Тип	Длина в мм	Классы точности			Метод проверки
		0	1	2	
		Степень точности проверяемых поверхностей по ГОСТ 10356—63, не точнее			
ЛД, ЛТ, ЛЧ ШП, ШД, ШМ УТ	80, 125, 200	II	IV	—	«На просвет» Метод линейных отклонений и «на краску» «На краску»
	320, 500	III	IV	—	
	400, 630, 1000	IV	VI	VII	
	1600	—	VI	VII	
	2500, 4000	—	VII	VIII	
630, 1000	—	VII	VIII		

Примечание. У шаброванных линеек типов ШМ и УТ при контроле «на краску» число пятен в квадрате со стороной 25 мм должно быть не менее: 30 — для линеек класса 0, 25 — для линеек 1-го класса, 20 — для линеек 2-го класса.

ТАБЛИЦА 10.4

Условия применения поверочных плит при контроле «от плиты» [7]

Размеры плит в мм	Классы точности плит			
	01	0	1	2
	Степень точности проверяемых поверхностей по ГОСТ 10356—63, не точнее			
250×250	VI	VII	VIII	X
400×400; 630×400; 1000×630; 1600×1000; 2500×1600; 4000×1600	V	VI	VII	IX

Механические приборы

Уровни (см. главу шестую). Уровни применяются для контроля прямолинейности и плоскостности шаговым методом. Сущность шагового метода заключается в последовательном измерении смещения отдельных точек проверяемой поверхности относительно пре-

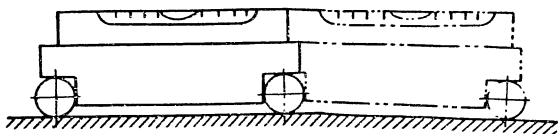


Рис. 10.2

дыдущей точки. Уровень, укрепленный на подставке с двумя опорами, переставляют по проверяемой поверхности так, чтобы задняя опора каждый раз устанавливалась на место передней (рис. 10.2), и отсчитывают отклонения от горизонтали. По полученным данным строят график отклонений точек профиля относительно горизонтальной плоскости, проходящей через нулевую точку, и определяют отклонения

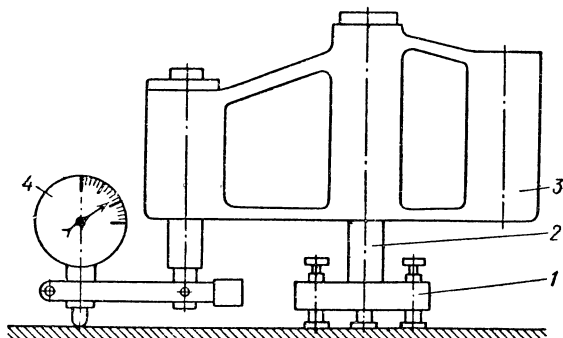


Рис. 10.3

от прямой, соединяющей крайние точки профиля, и от прилегающей прямой (плоскости). Методика обработки результатов измерений приведена в [2, 7, 13]. Погрешности измерения находятся в диапазоне $\pm 0,003$ — $0,005$ мм [5].

При измерении отклонений от плоскостности подставку с уровнем перемещают в нескольких направлениях, связанных общей точкой, и строят совмещенный график [1].

Плоскомеры карусельные завода «Калибр». Прибор (рис. 10.3) состоит из основания 1 с колонкой 2, вокруг которой поворачивается кронштейн 3 с измерительной головкой 4.

Прибор устанавливают основанием на середину проверяемой поверхности и выверяют так, чтобы показания измерительной головки

были одинаковы в трех произвольных точках проверяемой поверхности. По этим точкам устанавливают измерительную головку на нуль, а затем определяют отклонения от них других точек проверяемой поверхности. Основные данные и условия применения плоскомеров приведены в табл. 10.5 и 10.6.

Для определения отклонений от прилегающей плоскости при измерении карусельными плоскомерами, а также шаговым методом в ЭНИМС разработан специальный прибор — модель плоскости МС25-М [7].

ТАБЛИЦА 10.5

Техническая характеристика карусельных плоскомеров [7]

Основные показатели	Тип	
	917	918
Наибольший диаметр окружности, ограничивающей измерительную поверхность в мм	1800	900
Цена деления отсчетного устройства в мм	0,002 и 0,01	
Погрешность прибора (без отсчетного устройства) в мм	0,0025	0,0025
Размеры площадки для установки прибора в мм	∅ 440	∅ 220
Габаритные размеры в мм	1290 × 440 × 870	732 × 220 × 434
Масса в кг	30	16

ТАБЛИЦА 10.6

Условия применения карусельных плоскомеров [7]

Отсчетное устройство	При перемещении измерительного стержня в пределах	Размеры проверяемых поверхностей в мм			
		60—160	160—400	400—1000	1000—2500
		Степень точности проверяемых поверхностей по ГОСТ 10356—63, не точнее			
Индикатор часового типа	0,1 мм в начале второго оборота	VIII	VII	VI	V
	1 мм	IX	VIII	VII	VI
Измерительная головка с ценой деления 2 мкм	0,04 мм	VI	V	IV	III

Оптические приборы

Автоколлиматоры и коллиматоры. Автоколлиматоры и коллиматоры (см. главу шестую) применяются для измерения непрямолинейности и неплоскостности шаговым методом и методом оптического визирирования.

При измерении шаговым методом на проверяемую поверхность накладывают подставку 1 (рис. 10.4) с двумя опорами, на которой укреплено плоское зеркало 2; автоколлиматор 3 устанавливают рядом с проверяемой поверхностью. Ось автоколлиматора должна быть перпендикулярна к зеркалу и находиться на одной высоте с осью зеркала. В этом случае отраженное от зеркала изображение марки автоколлиматора (прозрачное перекрестие на темном поле или др.) занимает осевое положение в поле зрения окуляра.

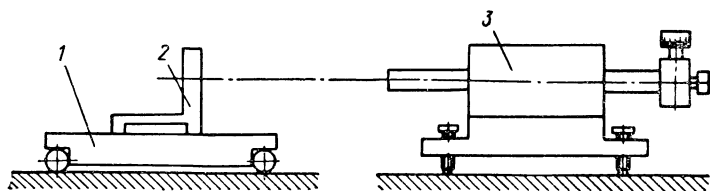


Рис. 10.4

При перемещении подставки с зеркалом по проверяемой поверхности отклонения от прямолинейности (плоскостности) вызывают наклоны зеркала, в результате чего изображение марки смещается. Измеряя смещение изображения марки, определяют отклонения точек профиля проверяемой поверхности. Зеркало перемещают каждый раз на расстояние, равное расстоянию между опорами подставки.

При измерении методом оптического визирирования автоколлиматор используется как простая зрительная труба, а вместо зеркала применяется визирная марка (освещенное перекрестие), устанавливаемая в отдельных точках проверяемой поверхности. Смещения перекрестия вызываемые отклонениями от прямолинейности (плоскостности), отсчитываются по шкале окуляр-микрометра автоколлиматора.

Методика обработки результатов измерений приведена в [2, 7].

Условия применения автоколлиматоров указаны в табл. 10.7.

При использовании коллиматора визирную трубу прибора устанавливают рядом с проверяемой поверхностью, а по поверхности перемещают подставку с коллиматором или марку.

Микротелескопы. К этой группе приборов относятся приборы ППС-11, ППС-7, оптическая струна и плоскомеры оптические. Прибор ППС-11 (ЛОМО) состоит из зрительной трубы, закрепляемой в установочном устройстве, визирной марки, зеркала и подставок с подсветкой. Ранее выпускавшийся прибор ППС-7 состоит из зрительной трубы и коллиматора. С помощью этих приборов измерения отклонений от прямолинейности (плоскостности) могут осуществляться методами оптического визирирования или автоколлимационным (методом рефлексии). Смещения изображения марки относительно центра пере-

ТАБЛИЦА 10.7

Условия применения автоколлиматоров для контроля прямолинейности и плоскостности [7]

Диапазоны проверяемых размеров в мм	Тип автоколлиматора	
	АК-0,25; АК-0,5; АФ-2; МГА	АК-1
	Степень точности проверяемых поверхностей по ГОСТ 10356—63, не точнее	
От 400 до 1 000	I	I—II
Св. 1000 » 2 500	I	I—III
» 2500 » 6 300	I	II
» 6300 » 10 000	I	I—II
Примечание. Два значения даны для начала и конца диапазона.		

крестия прибора могут быть определены в двух взаимно перпендикулярных направлениях по шкалам оптического микрометра.

Техническая характеристика прибора ППС-11 [2, 7]

Диапазон измерения в м	0,2—20
Увеличение (при фокусировке на бесконечность)	26 *
Поле зрения (при фокусировке на бесконечность)	0° 30'
Диапазон измерений по шкалам барабанов оптического микрометра в мм	±1
Цена деления шкалы барабанов в мм	0,02
Погрешность прибора в мм	$\pm \left(0,01 + \frac{L}{200} \right)$,
	где L — расстояние до марки в м
Степень точности проверяемых поверхностей по ГОСТ 10356—63, не точнее	VI—VII
Непараллельность образующей наружного цилиндра визирной линии трубы	2"
Габаритные размеры в мм	515 × 130 × 120
Масса в кг	5

Оптическая струна ДП-477М [7]. Она состоит из визирной трубы, устанавливаемой неподвижно, и марки с точечным источником света, перемещаемой по проверяемой поверхности. Отклонения от прямолинейности могут быть измерены в вертикальной и горизонтальной плоскостях с помощью оптического компенсатора визирной трубы или микрометрических винтов марки, перемещающих источник света. Визирная труба имеет объектив со свойствами аксикона, не требующий перефокусировки. Прибор оснащен также записывающим устройством.

Техническая характеристика оптической струны

Диапазон измерения отклонений от прямолинейности в мм	$\pm 0,4$
Длина измеряемой поверхности в м	0,2—30
Погрешность измерения	$\pm 0,5''$
Степень точности контролируемых поверхностей по ГОСТ 10356—63	IV—X
Диапазон регистрируемых отклонений в мм	$\pm 0,05$
Вертикальный масштаб регистрации	1000 : 1
Диапазон перемещения марки в двух взаимноперпендикулярных направлениях в мм	± 5
Цена деления барабана компенсатора в мкм	1
Цена деления барабана микрометра марки в мм	0,01
Габариты в мм	Трубы — $450 \times 145 \times 200$, марки — $130 \times 120 \times 185$
Масса в кг	Трубы — 9,85, марки — 1,85

Плоскомеры оптические. Эти приборы предназначены для контроля плоскостности горизонтальных и наклонных поверхностей большой протяженности. Приборы основаны на визирном методе. Они состоят из визирной трубы 1 (рис. 10.5), трех базовых марок 2 и измерительной марки 3. Базовые марки, расположенные на проверяемой поверхности, задают плоскость отсчета.

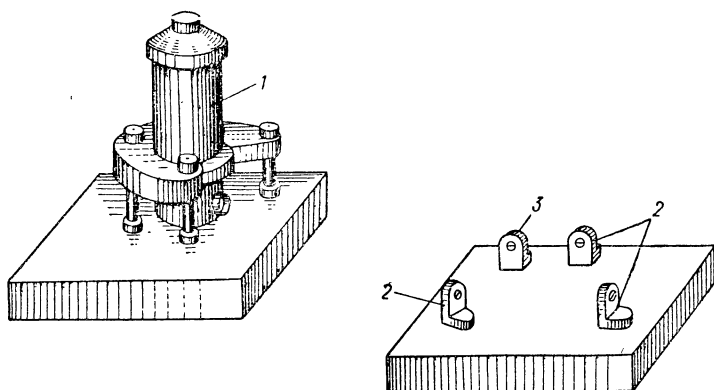


Рис. 10.5

Регулируя опоры визирной трубы, совмещают плоскость визирования трубы с плоскостью отсчета, а затем определяют отклонения от этой плоскости измерительной марки, устанавливаемой в различные точки проверяемой поверхности. Крепление марок к проверяемой поверхности осуществляется с помощью постоянных магнитов.

При наводке на марки визирная труба плоскомеров не требует перефокусировки, так как в качестве объектива в ней применены сферические аксиконы.

Основные данные и условия применения плоскомеров приведены в табл. 10.8 и 10.9.

ТАБЛИЦА 10.8

Техническая характеристика плоскомеров оптических [7]

Основные показатели	Тип		
	ИС-41М	ИС-42	ДП1477А-12
Погрешность измерения в с	± 1	$\pm 0,8$	$\pm 0,5$
Размеры проверяемых поверхностей в мм	25×25	25×25	25×25
Диапазоны измеряемых отклонений в мм:			
по микрометру визирной трубы	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$
» » марки	$\pm 5,0$	$\pm 5,0$	$\pm 5,0$
Цена деления отсчетного барабана в мм:			
микрометра визирной трубы	0,001	0,001	0,001
» марки	0,01	0,01	0,01

ТАБЛИЦА 10.9

Условия применения плоскомеров оптических [7]

Диапазоны проверяемых размеров	Типы плоскомеров		
	ИС-41М	ИС-42	ДП1477А-12
	Степень точности проверяемых поверхностей по ГОСТ 10356—63, не точнее		
400—1000	IV—VI	IV—V	II—IV
1000—2500	V—VII	IV—VI	III—VI
2500—6300	VI—VIII	V—VII	V—VII
6300—10 000	VII—VIII	VII—VIII	VI
П р и м е ч а н и е. Два значения даны для начала и конца диапазона.			

Аналогичный прибор (микротелескоп) выпускается фирмой «Rank Taylor Hobson» [2, 7].

Оптическая линейка [2, 7, 9, 11, 13]. Прибор основан на измерении отклонений точек контролируемой поверхности от «нематериальной» прямой — оптической оси. Линейка 1 (тонкостенная труба с оптической системой), устанавливаемая на две опоры 2 (рис. 10.6), имеет сквозной шлиц, вдоль которого перемещается измерительная каретка 3 со шупом 4, касающимся контролируемой поверхности. Для определения отклонений точек поверхности необходимо совмещать видимые на экране визирный штрих 5 и бифиляр 6 и снимать отсчеты по барабану микрометра 7.

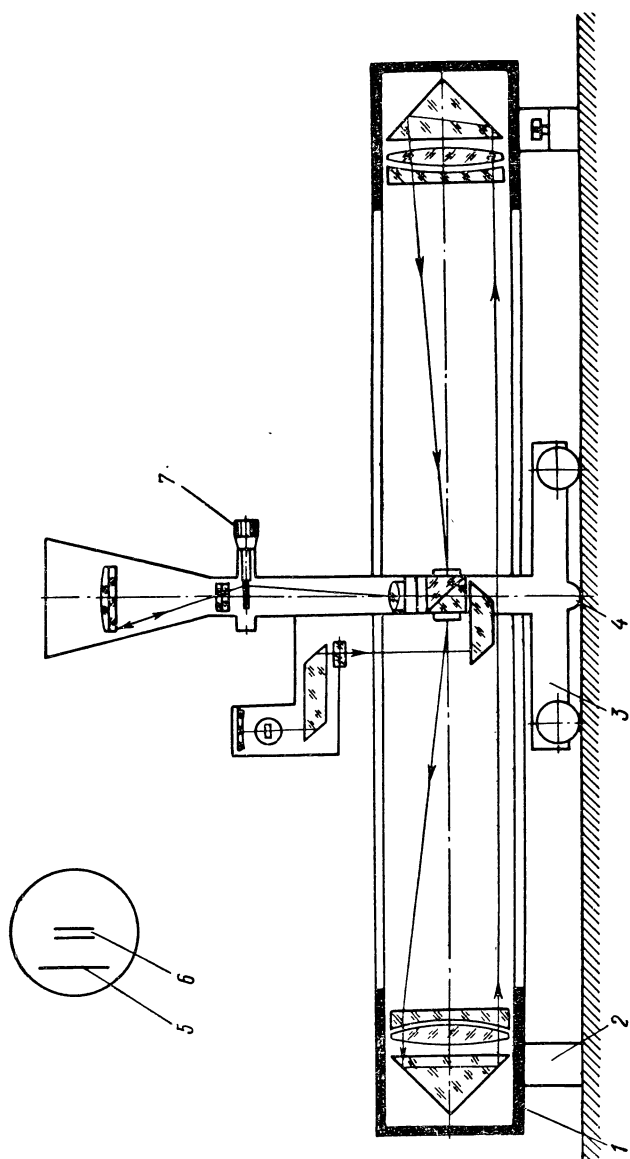


Рис. 10.6

Прибор имеет также регистрирующее устройство, позволяющее графически воспроизвести на бумаге профиль контролируемой поверхности.

Техническая характеристика серийно выпускаемых линеек приведена в табл. 10.10.

ТАБЛИЦА 10.10

Техническая характеристика оптических линеек

Основные показатели	Тип линейки		
	ИС-36М	ИС-43	ИС-49
Цена деления в мкм	1	0,5	—
Наибольшая измеряемая длина в мм	1600	800	1600
Пределы допускаемой погрешности измерения в мкм	$\pm 1,5$	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$
Степень точности контролируемых поверхностей по ГОСТ 10356—63	I—X	I—X	I—X
Диапазон регистрируемых отклонений в мм	$\pm 0,5$	$\pm 0,25$	$\pm 0,2$
Вертикальный масштаб регистрации	1000 : 1	2000 : 1	От 250 : 1 до 4000 : 1
Горизонтальный масштаб регистрации	1 : 1	1 : 1	1 : 1

Разработаны также оптические линейки для измерения на длине 3 и 4 м с погрешностью ± 2 и ± 3 мкм, бескорпусная линейка, позволяющая контролировать прямолинейность на длине до 12—15 м, и автоматическая линейка (ИС-49) с фотоэлектрическим наведением.

На аналогичном принципе основан прибор «Родолайт» [2], выпускаемый фирмой «Cooke, Troughton Simms» (США). Прибор предназначен для проверки прямолинейности, плоскостности, правильности взаимного расположения поверхностей, соосности отверстий и точности вращения.

Интерференционные приборы (интерферометры). Такие приборы предназначены для измерения непрямолинейности и неплоскостности поверхностей высоких степеней точности по ГОСТ 10356—63 (I и II).

Прибор, разработанный акад. В. П. Линником [10], состоит из коллиматора и зрительной трубы, в поле зрения которой сразу видна вся проверяемая поверхность. Измерение отклонений от прямолинейности и плоскостности может быть произведено в любом месте поверхности по искривлению интерференционных полос в десятых долях расстояния между ними. Точность измерения — до 1 мкм при длине проверяемой поверхности до 2 м.

Интерферометры [2, 7], выпускаемые английской фирмой «Hilgerand Watts» (модели Т-48 и Т-24), позволяют производить измерения на длине соответственно 1250 и 610 мм, а интерферометр народного предприятия «Carl Zeiss» (ГДР) — на длине до 12 м (модель 12).

Проверка плоскостности доведенных поверхностей небольших размеров (до 120 мм) не грубее степени точности II по ГОСТ 10356—63 производится с помощью плоских стеклянных пластин (ГОСТ 2923—59).

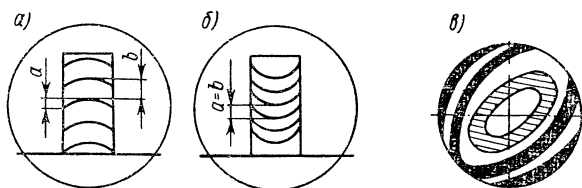


Рис. 10.7

При наложении пластины с небольшим наклоном на проверяемую поверхность детали прямоугольной формы возникают интерференционные полосы, а при наложении на поверхность круглой детали — интерференционные кольца (рис. 10.7). В случае выпуклости проверяемой поверхности интерференционные полосы будут искривлены от ребра

клина (рис. 10.7, а), а в случае вогнутости — к ребру клина (рис. 10.7, б). Неплоскостность оценивается в долях интервала интерференционных полос или соответственно по числу замкнутых интерференционных колец. При наблюдении интерференции в белом свете расстояние между полосами (одному кольцу) соответствует 0,3 мкм (половина длины волны белого света). На рис. 10.7, а, б, в неплоскостность соответственно равна 0,12 мкм ($\frac{a}{b} = 0,4$), 0,3 мкм ($\frac{a}{b} = 1$) и 0,6 мкм (два кольца).

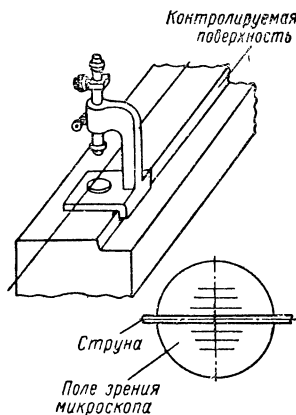


Рис. 10.8

микрометра. Отклонения от прямолинейности поверхности в различных ее точках вызывают соответствующие смещения перекрестия относительно струны.

Лазеры. Приборы позволяют производить измерения на больших расстояниях. Так, например, прибор модели 5600 фирмы «Pilkington Perkin—Elmer» (Англия) предназначен для измерений на длине до 105 м [7]; погрешность измерения на расстоянии св. 60 м примерно 12 мкм. Измерения могут осуществляться визирным или автоколлимационным (шаговым) методом.

Уровни гидростатические завода «Калибр» [7]

Приборы основаны на принципе сообщающихся сосудов и состоят из двух измерительных головок 1 и 4 (рис. 10.9), наполненных водой и соединенных между собой двумя гибкими шлангами. Шланг 2 обеспечивает расположение воды на одном уровне, а шланг 3 — одинаковое давление воздуха. Каждая головка имеет микрометрический глубиномер 5 с острием на конце микровинта. Момент касания острия с водой определяется на глаз после успокоения воды.

При измерении одна измерительная головка неподвижна, а вторую перемещают по проверяемой поверхности 6 и измеряют уровень воды в обеих головках.

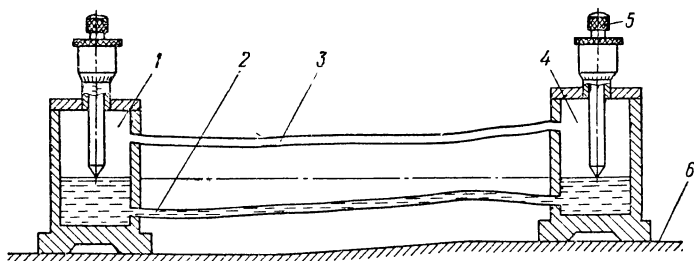


Рис. 10.9

Разность показаний головок определяет положение участка проверяемой поверхности относительно горизонта. Измерительные головки (две или несколько) могут быть присоединены к общему баку с водой. В этом случае отсчет по одной головке характеризует отклонение от постоянного уровня.

Методика обработки результатов измерений и определения отклонений от прилегающей плоскости дана в [7].

Основные данные уровней и условия применения приведены в табл. 10.11 и 10.12.

ТАБЛИЦА 10.11

Техническая характеристика гидростатических уровней [7]

Основные показатели	Тип	
	115-I	115-II
Наибольшая разность высот проверяемых поверхностей в мм	25	25
Цена деления барабана микрометра в мм	0,01	0,1
Наибольшая длина измерения в м	До 12	До 12
Погрешность измерения при горизонтальной укладке водяного шланга в мм	0,01	0,1
Размеры основания измерительной головки в мм	100×100	
Габаритные размеры головки в мм	100×150×275	
Масса одной головки без шланга в кг	4,4	

ТАБЛИЦА 10.12

Условия применения гидростатических уровней [7]

Диапазоны проверяемых размеров в мм	Тип уровня	
	115-I	115-II
	Степень точности проверяемой поверхности по ГОСТ 10356-63, не точнее	
От 160 до 400	VII	—
Св. 400 » 1 000	VI	—
» 1 000 » 2 500	V	X
» 2 500 » 6 300	IV	IX
» 6 300 » 10 000	III	VIII
» 10 000	—	При непрямолиней- ности (неплоскостности) св. 200 мкм

Во ВНИИМе разработан гидроэлектрический нивелир, основанный на принципе открытой гидростатической системы. Прибор позволяет измерять отклонения от прямолинейности направляющих неограниченной протяженности с погрешностью, не превышающей ± 5 мкм [12].

Индуктивные приборы

Уровень индуктивный модели 129 завода «Калибр». Внутри корпуса 1 (рис. 10.10) уровня закреплены индуктивные катушки 2 и подвешен маятник 3 (якорь). Изменение положения маятника относительно катушек при перемещении корпуса по проверяемой поверхности приводит к изменению индуктивности катушек.

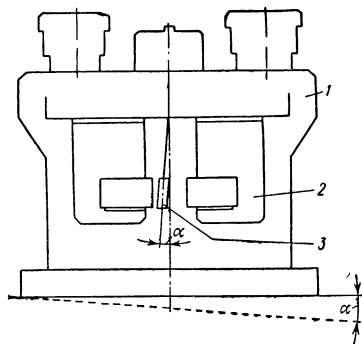


Рис. 10.10

Основные данные и условия применения уровней приведены в табл. 10.13 и 10.14. Аналогичные приборы модели «Теливел» выпускаются фирмой «Rank Taylor Hobson» (Англия).

Линейка ЛИП-3. Прибор состоит из линейки 2 (рис. 10.11) и перемещающегося относительно нее ползуна 3 с индуктивным преобразователем 1. Линейку устанавливают на двух опорах 4 над проверяемой поверхностью, а ползун перемещают по проверяемой поверхности, при этом наконечник преобразователя ошупывает верхнюю доведенную плоскость линейки. Отклонения проверяемой поверхности записываются самописцем 7 и выдаются в виде графика.

ТАБЛИЦА 10.13

Техническая характеристика индуктивных уровней [7]

Основные показатели	Тип уровня		
	I	II	III
Цена деления в с	20	4	2
Диапазон измерения в с	± 500	± 100	± 50
Погрешность в с	20	4	2
Базовая длина в мм	100		
Наибольший угол наклона к горизонту в град	3		
Цена деления микровинтов в с	40		
Наибольший угол наклона базовой плоскости к горизонту при установке нуля в с	± 50		
Порог чувствительности в с	0,5		
Допустимый поперечный наклон уровня в град	± 5		
Габаритные размеры в мм	100×56×178		
Масса в кг	6,2		

ТАБЛИЦА 10.14

Условия применения индуктивных уровней [7]

Диапазоны проверяемых размеров в мм	Цена деления в с		
	20	4	2
	Степень точности проверяемых поверхностей по ГОСТ 10356—63, не точнее		
От 160 до 400	—	III	—
Св. 400 » 1 000	VI—VII	II—IV	I—II
» 1000 » 2 500	—	III	—
» 2500 » 6 300	—	II—III	—
» 6300 » 10 000	VI	—	I
Примечание. Два значения даны для начала и конца диапазона.			

ТАБЛИЦА 10.15

Техническая характеристика линеек ЛИП-3 и УИП-5 [7, 11]

Основные показатели	ЛИП-3	УИП-5
Диапазон измеряемых отклонений от прямолинейности в мм	От $\pm 0,02$ до $\pm 0,2$	От $\pm 0,02$ до $\pm 0,1$
Длина измеряемой трассы в мм	До 910	До 700
Пределы допускаемой погрешности в мкм при увеличении		
500*	± 4	—
1000*	± 2	± 2
2000*	$\pm 1,5$	$\pm 1,5$
5000*	$\pm 0,75$	$\pm 0,75$
Вертикальное увеличение, крат	500; 1000; 2000; 5000	1000; 2000; 5000
Горизонтальное увеличение, крат	0,5—0,1	0,5—0,1
Габаритные размеры в мм	1075×50×115	—
Масса в кг	6,6	4,9

ТАБЛИЦА 10.16

Условия применения линеек ЛИП-3 и ЛИП-5 [7, 11]

Диапазоны проверяемых размеров в мм	Масштаб регистрации вертикальный			
	500 : 1	1000 : 1	2000 : 1	5000 : 1
	Степень точности проверяемых поверхностей по ГОСТ 10356—63, не точнее			
От 60 до 160	V	IV	IV	II
Св. 160 » 400	IV	III	III	I
» 400 » 900	III	II	II	I

Перемещение ползуну передается от привода 6 перфорированной лентой 5. Прибор разработан на Каунасском станкостроительном заводе им. Ф. Э. Дзержинского.

Линейка УИП-5. Прибор аналогичен линейке ЛИП-3. Отличие состоит в том, что образцовая линейка служит якорем бесконтактного индуктивного преобразователя, который смонтирован на осязывающем ползуне.

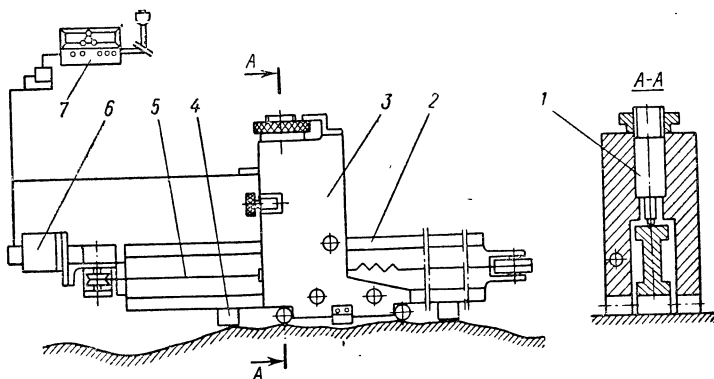


Рис. 10.11

Прибор может быть применен также для измерения прямолинейности вертикальных и наклонных плоскостей. Крепление прибора к контролируемой поверхности осуществляется в этом случае с помощью электромагнитов. Основные данные линеек ЛИП-3 и УИП-5 приведены в табл. 10.15, а условия применения — в табл. 10.16.

2. ИЗМЕРЕНИЕ ОТКЛОНЕНИЙ ФОРМЫ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

Измерение некруглости

Измерение с помощью кругломеров. Современные приборы для измерения некруглости — кругломеры основаны на методе образцового вращения. Кругломеры (ГОСТ 17353—71) разделяются на приборы с вращающимся измерительным наконечником (КН) и приборы с вращающейся проверяемой деталью (КД). Биение шпинделя приборов не превышает 0,05—0,075 мкм.

Измерение производится осязыванием поверхности детали по окружности наконечником преобразователя (индуктивного или пневматического). Увеличенные перемещения наконечника записываются в полярной системе координат на бумажном диске (круглограмме). Круглограмма позволяет определять отклонения формы детали от прилегающей окружности. Для упрощения оценки некруглости используется прозрачный шаблон с концентричными окружностями и радиальной шкалой, накладываемый на круглограмму.

На кругломерах можно измерять также непрямолинейность наружных и внутренних образующих цилиндрических деталей [2, 3, 7].

Для измерения используют вертикальное перемещение измерительной головки с преобразователем и плоскокруговое движение. У кругломеров с вращающимся измерительным наконечником для контроля плоскостности применяется специальное приспособление.

Основные данные отечественных кругломеров приведены в табл. 10.17.

Различные типы и конструкции кругломеров выпускаются многими иностранными фирмами: «Rank Taylor Hobson» (модели «Талиронд-51», «Талиронд-2» и др.), ОМТ, «Perthen» (Англия), «Hommelwerke» (ФРГ) и др. [3].

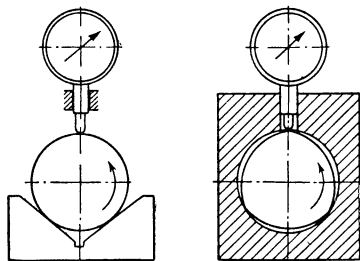


Рис. 10.12

К кругломерам выпускаются приспособления для проверки прерывистых поверхностей, концентричности наружной и внутренней поверхностей вращения, прямолинейности образующих, плоскостности торцов, для обработки круглограмм и др.

Измерение с помощью измерительной головки. Установленную в центрах деталь поворачивают на 360° под наконечником измерительной головки. Способ

применим только для деталей типа валов с центровыми отверстиями.

Измерения овальности и огранки с четным числом граней могут быть осуществлены с помощью двухконтактных приборов.

Детали типа валов поворачивают между измерительными поверхностями прибора (например, на столе стойки под наконечником оптиметра или измерительной головки, или между губками рычажной скобы) до получения наибольшего или наименьшего отсчета. Затем вал поворачивают еще на 90° и определяют размер в этом направлении. Овальность принимают равной разности полученных значений диаметра. Овальность отверстий определяют с помощью двухконтактных нутромеров.

Распространенный способ определения овальности как разности двух взаимно перпендикулярных диаметров, измеренных в произвольных направлениях, является весьма приближенным.

Измерение огранки с нечетным числом граней производится трехконтактными приборами: в призме или в кольце (рис. 10.12), диаметр которого равен наибольшему предельному размеру вала, трехконтактным нутромером, пневматическим кольцом и пробкой с тремя парами сопел.

При базировании детали в призме результаты измерения зависят не только от значения огранки, но и от числа граней детали и угла призмы (табл. 10.18). Рекомендуется применять призмы с углом

$\alpha = 180^\circ - \frac{360}{n}$. Число граней n изделия может быть определено при его повороте в центрах.

ТАБЛИЦА 10.17

Техническая характеристика кругломеров

Основные показатели	по ГОСТ 17353-71	Модели отечественных кругломеров [3]					
		218	255	246	BE-20A	BE-37 (наклад- ной)	БВ-2003
Пределы диаметров кон- тролируемых поверхно- стей в мм: верхний нижний	100, 160, 250, 400, 630, 1000	300	350	350	250	125	150
	3	0,5	0,5	—	3	65	2
Наибольшая высота кон- тролируемых поверхно- стей в мм	100, 160, 250, 400, 630, 1000, 1600	350	400	1500	380	120	150
Пределы допускаемых радиальных погрешностей в мкм, для классов точно- сти:							
	1	0,05	0,5	0,2	0,15	0,2	0,2
	2	0,12					
	3	0,30					
	4	0,80					

*

Продолжение табл. 10.17

Основные показатели	по ГОСТ 17353—71	Модели отечественных кругломеров [3]					
		218	255	246	BE-20A	BE-37 (наклад- ной)	БВ-2003
Пределы допускаемых осевых погрешностей в мкм для классов точности	0,08 0,15 0,30 0,80	0,1	0,5	0,2	0,15	0,2	0,2
Система измерения	Индуктивная или пневматическая	Электромеханическая			Индуктивная		Пневматическая
Наибольшая допускаемая нагрузка на стол в Н		800	800	1500	500	—	600
Габариты в мм		800×600× ×1700	620×500× ×1820	1000×500× ×3000	1200×690× ×1500	270×165× ×145	400×595× ×695
Масса в кг		500	600	1500	360	6	220
Изготовитель	—	Завод «Калибр»					ЧЗМИ Филиал ЭНИМС

Пр и м е ч а н и е. Кругломеры моделей 218, 255, BE-20A и БВ-2003 предназначены для измерения некруглости наружных и внутренних поверхностей, модель 246 — только наружных, а модель BE-37 — только внутренних поверхностей.

ТАБЛИЦА 10.18

Зависимость между показаниями (a) по шкале прибора и значением огранки (b) при угле призмы 90°

Число граней n	2	3	4	5	6	7	8	9
a	$1b$	$2,06b$	$0,041b$	$2,08b$	$1b$	$0,06b$	$2,41b$	$0,06b$

Примечания:
 1. Для трех- и пятивершинной огранки можно принять $a = 2b$.
 2. Для призмы с углом 60° при трехвершинной огранке $a = 3b$.

Измерение отклонений профиля продольного сечения

Для определения отклонений профиля продольного сечения необходимо измерить отклонения от прямолинейности и параллельности двух противолежащих образующих продольного сечения, построить профилограмму (рис. 10.13), нанести на нее прилегающий профиль и определить наибольшее расстояние Δ между прилегающим 1 и реальным 2 профилями (рис. 10.13). Прилегающий профиль образуется двумя параллельными прямыми, соприкасающимися с реальным профилем вне материала детали и расположенными по отношению к нему так, чтобы отклонение формы было наименьшим.

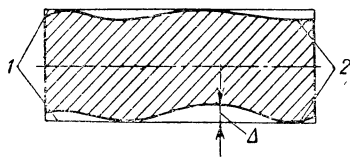


Рис. 10.13

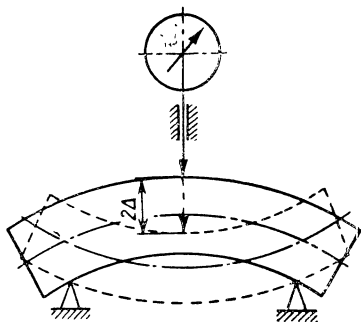


Рис. 10.14

Измерение непрямолинейности образующих может быть осуществлено одним из способов, указанных в п. 1 данной главы. Непараллельность образующих определяется измерением диаметров по краям (при измерении конусообразности), или по краям и в середине (при измерении бочкообразности и седлообразности).

Измерения диаметров могут производиться любыми приборами в зависимости от необходимой точности.

Изогнутость валиков определяется при вращении детали на двух опорах под наконечником измерительной головки (рис. 10.14). Изогнутость Δ равна полуразности наибольшего и наименьшего показаний прибора.

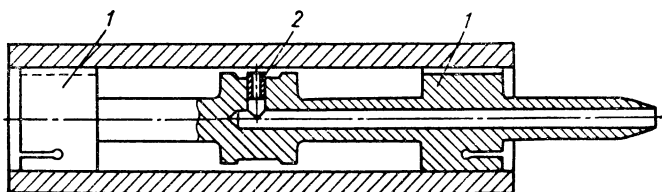


Рис. 10.15

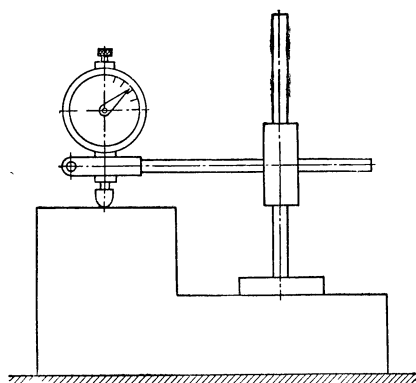


Рис. 10.16

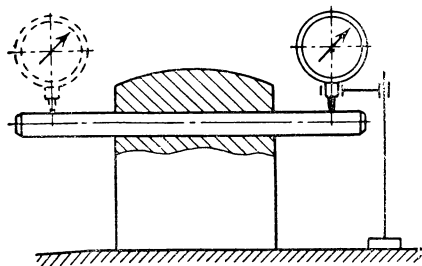


Рис. 10.17

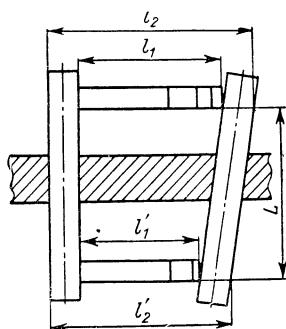


Рис. 10.18

Изогнутость оси отверстия может быть определена пневматическим методом с помощью специальной пневматической пробки (рис. 10.15) с двумя центрирующими поясками 1 и одним соплом 2, которую поворачивают в отверстии на 360° . При большой длине отверстий применяют специальные оптико-механические приборы, основанные на визирном или автоколлимационном методах измерения.

3. ИЗМЕРЕНИЕ ОТКЛОНЕНИЙ РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Измерение непараллельности

Непараллельность плоскостей может быть измерена следующими измерительными средствами:

1) измерительной головкой, закрепленной в универсальном штативе (рис. 10.16); непараллельность определяется как разность расстояний между плоскостями на заданной длине;

2) уровнем, последовательно устанавливаемым на обе плоскости;

3) специальными измерительными приспособлениями;

4) автоколлиматором и зеркалом или зрительной трубой и коллиматором; при измерении зеркало (или коллиматор) устанавливают сначала на одну, а затем на другую плоскость;

5) автоколлимационным теодолитом типа ЮС-41, располагаемым между контролируемыми плоскостями и наводимым на накладные зеркала [1].

Непараллельность плоскости и оси (вала, отверстия) измеряется теми же методами, что и непараллельность плоскостей. На рис. 10.17 показано измерение с помощью измерительной головки. Перед измерением в отверстие плотно вставляется контрольный валик.

Непараллельность осей валов и отверстий может быть определена по результатам измерения размеров l_1 и l'_1 или l_2 и l'_2 (рис. 10.18) на расстоянии L с помощью плоскопараллельных мер длины, штангенциркуля, микрометра или другого прибора, или с помощью измерительной головки (рис. 10.19); ось нижнего валика должна быть параллельна плоскости плиты.

Для измерений в труднодоступных местах применяют автоколлиматор [1].

Непараллельность осей, расположенных в вертикальной плоскости (рис. 10.20, а), а также перекося осей (рис. 10.20, б, в, г) могут быть измерены с помощью уровней.

Измерения перекося осей могут быть осуществлены также с помощью измерительной головки (рис. 10.21). Базовая ось 1 должна быть установлена параллельно плоскости 2.

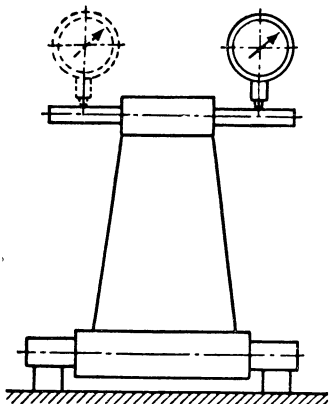


Рис. 10.19

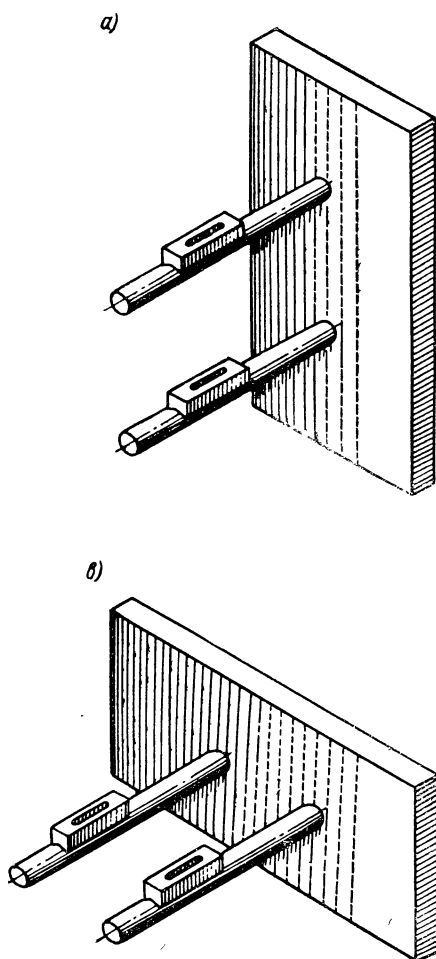
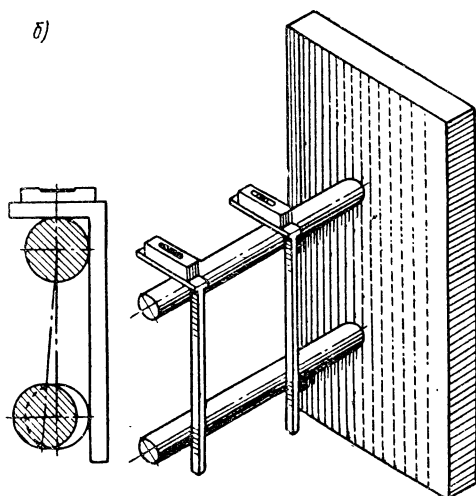
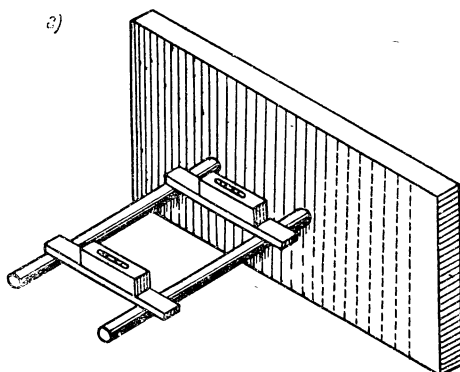


Рис. 10.20

б)



в)



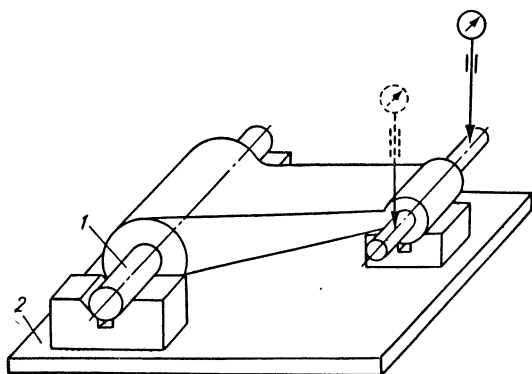


Рис. 10.21

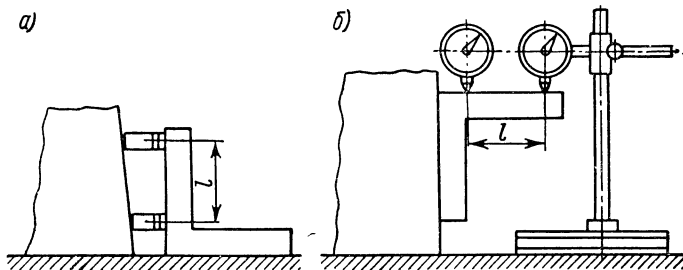


Рис. 10.22

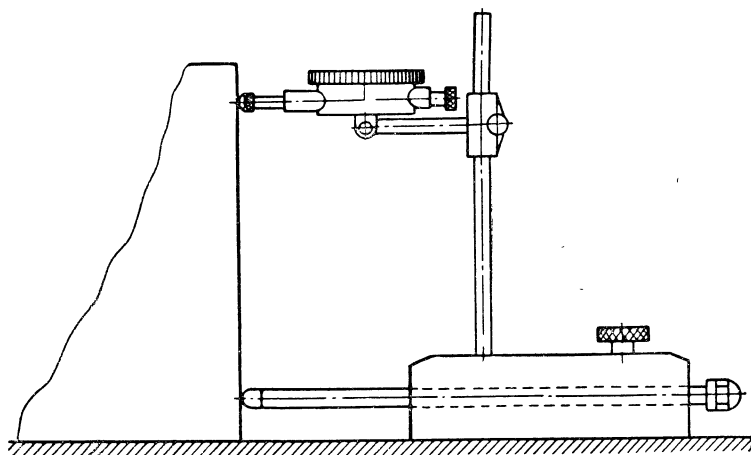


Рис. 10.23

Измерение неперпендикулярности

Неперпендикулярность плоскостей измеряется угломерами, угловыми плитками, угольниками (рис. 10.22), специальным индикаторным приспособлением (рис. 10.23), автоколлиматором [1]. При применении угольника определяется в двух точках расстояние до поверхности изделия (рис. 10.22, а) с помощью щупов или концевых мер, или до плиты (рис. 10.22, б) с помощью измерительной головки. Разность расстояний дает значение неперпендикулярности на длине l .

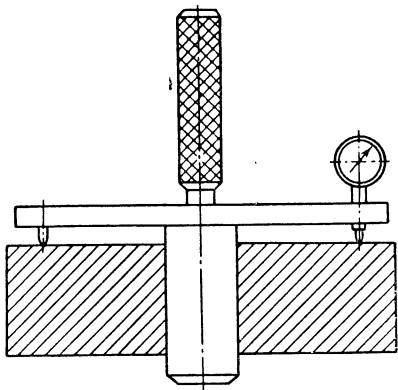


Рис. 10.24

Неперпендикулярность осей валов и отверстий, а также плоскости и оси измеряется чаще всего специальными измерительными приспособлениями, а в труднодоступных местах — автоколлиматором и специальными накладными зеркалами, зеркальными мостиками или угольниками [1]. На рис. 10.24 показано индикаторное приспособление для измерения неперпендикулярности оси отверстия к плоскости [5],

Измерение торцового и радиального биения

Измерения осуществляются с помощью измерительной головки, закрепляемой в стойке, универсальном штативе или специальном измерительном приспособлении.

Измеряемые детали устанавливают в центрах, насаживают на коническую, цилиндрическую, ступенчатую или разжимную оправку или укладывают базовой поверхностью на призму.

Конические оправки должны иметь конусность от $\frac{1}{1000}$ до $\frac{1}{10000}$,

а цилиндрические оправки должны входить в базовое отверстие с минимальным зазором (5—10 мкм для деталей 2—3-го классов точности при диаметре примерно 80 мм).

Значение торцового биения при расположении упора по оси (рис. 10.25, а) и радиального биения определяется как разность a между наибольшим и наименьшим отсчетами по шкале измерительной головки за один оборот детали. При расположении упора, как на рис. 10.25, б, торцовое биение равно половине разности отсчетов. Измерительный наконечник при измерении торцового биения располагают на заданном расстоянии от оси вращения детали.

Специальное приспособление для измерения торцового и радиального биения фланца изображено на рис. 10.26. При установке фланца 1 на коническую оправку 2 кронштейн 3 с измерительными головками отводится в сторону [5].

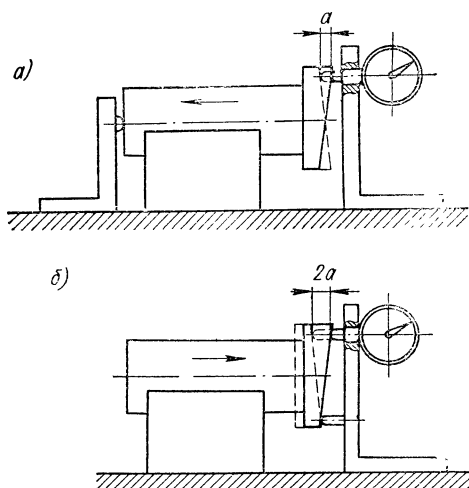


Рис. 10.25

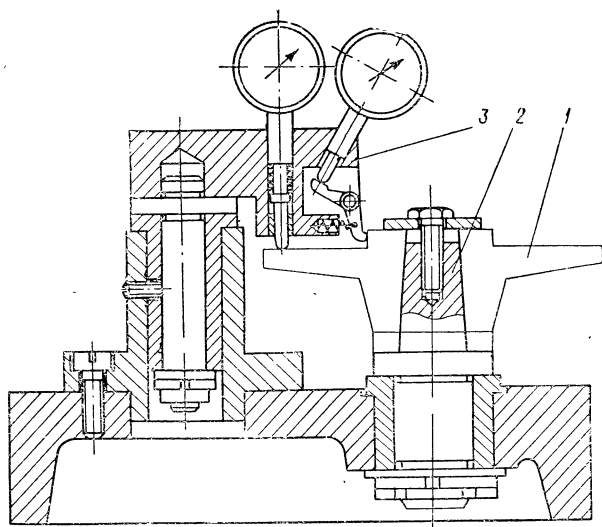


Рис. 10.26

Измерение несоосности

Несоосность относительно базовой поверхности может быть определена измерением радиального биения (рис. 10.27) проверяемой поверхности в заданном сечении или в крайних сечениях, или с помощью индикаторного приспособления (рис. 10.28). В последнем случае значение несоосности e равно половине разности отсчетов по шкале измерительной головки.

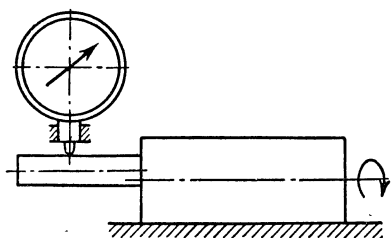


Рис. 10.27

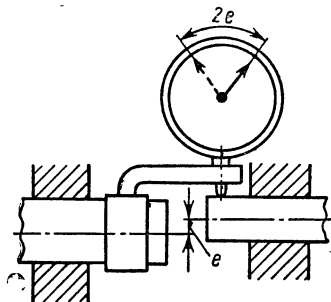


Рис. 10.28

Результат измерения зависит от некруглости поверхностей, а во втором случае и от точности пригонки оправок к отверстиям [1].

Значение несоосности по результатам измерения радиального биения может быть определено по методике, указанной в [16].

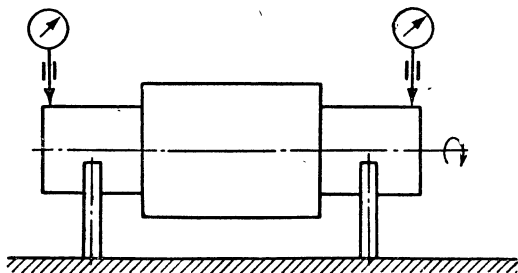


Рис. 10.29

Несоосность шеек вала (рис. 10.29) относительно их общей оси определяется при вращении вала на двух ножевых опорах, находящихся в средних сечениях шеек.

Несоосность отверстий относительно общей оси может быть измерена приборами УкрНИИСИП. Прибор устанавливают в проверяемые отверстия, а затем поворачивают на 360° и определяют отклонения по отсчетному устройству.

Основные данные приборов приведены в табл. 10.19. Измерение несоосности отверстий производится также с помощью оптических при-

ТАБЛИЦА 10.19

Основные данные приборов УкрНИИСИП для измерения несоосности отверстий [4]

Основные показатели	Тип прибора			
	14-65	19-67	15-64	38-67
Цена деления в мкм	0,25; 1	1; 2	1	1
Предел измерения несоосности в мкм	5; 20	50; 100	100	100
Диаметр контролируемых отверстий в мм	80—180	100—200	65—130	65—80
Длина контролируемых отверстий в мм	24—130	20—120	24—200	140—300
Расстояние между отверстиями по наружным торцам, в мм	140—400	460—700	80—990	800—900
Погрешность прибора в мкм	$\pm(1-2)$	$\pm(2-3)$	$\pm(2-4)$	
Расположение контролируемых отверстий	Вертикальное	Горизонтальное	Вертикальное	
Отсчетное устройство	Индуктивное	Рычажно-зубчатое	Оптико-механическое	
Масса в кг	4	8	2,8	7

Примечание. Центрирующие устройства приборов комплектуются наборами сменных наконечников.

боров: прибора ППС-11 (см. п. 1), автоколлиматора, оптической струны и др. [1]. При измерении в проверяемые отверстия устанавливают специальные марки, разработанные в ВНИИТэлектро [15], а зрительные трубы приборов выверяют так, чтобы линия визирования проходила через центры средних сечений первого и последнего отверстий (при измерении соосности относительно общей оси) или через центры крайних сечений базового отверстия (при измерении относительно базовой оси).

При зависимых допусках несоосность отверстий небольших деталей целесообразно контролировать комплексными калибрами (см. главу вторую).

Измерение непересечения осей

В проверяемые отверстия (рис. 10.30) вставляют оправки и измеряют расстояния от базовой поверхности до верхней образующей оправки в точке пересечения осей (положения *A* и *B*). Непересечение определяется как разность показаний измерительной головки с учетом диаметров оправок.

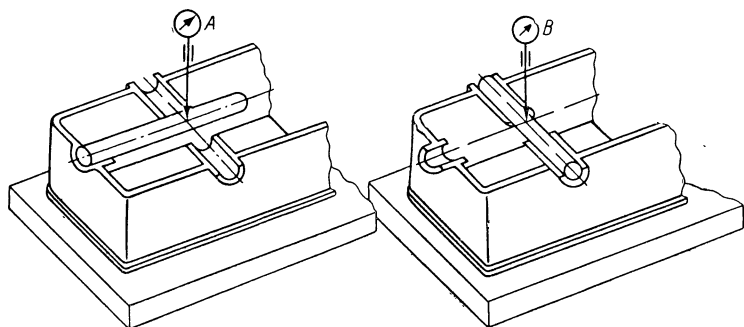


Рис. 10.30

Измерение несимметричности

Деталь (рис. 10.31) поворачивают на 180° и определяют при помощи измерительной головки несимметричность как полуразность расстояний A и B .

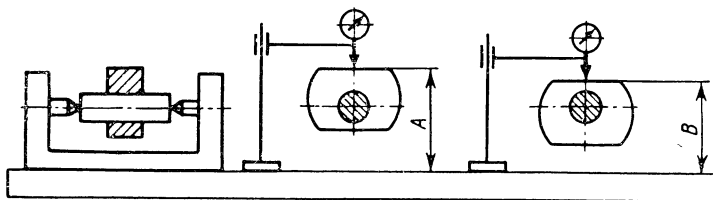


Рис. 10.31

Измерения производят также специальными измерительными приспособлениями [5].

Различные отклонения расположения поверхностей могут быть измерены на универсальных измерительных стендах [1].

4. ИЗМЕРЕНИЕ ВОЛНИСТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ [6, 11]

Для измерения волнистости плоских поверхностей применяют:

1) некоторые типы приборов для измерения шероховатости поверхностей: профилометр-профилограф завода «Калибр» моделей 201 и 202, профилографы ММИ-2, ИС-32, ИЗП-5, «Талисерф-4» фирмы «Rank Taylor Hobson» и др. (см. главу двенадцатую). Волнистость на этих приборах измеряется специальными приспособлениями, позволяющими увеличивать длину измеряемой трассы, а также отделять волнистость от шероховатости;

2) некоторые приборы для измерения прямолинейности: автоколлиматоры с автоматической фиксацией результатов измерения [фирм «Hilger and Watts» (Англия) и др.], оптические линейки ИС-36 и др., линейки ЛИП-3 и УИП-5, приборы «Талилин» фирмы «Rank Taylor Hobson» и др. (см. главу десятую, п. 1);

Техническая характеристика некоторых специальных

Наименование прибора	Принцип действия	Форма измеряемой поверхности
Волнограф ПВ-1	Механический	Плоская и цилиндрическая (по образующей)
» ИС-23	Оптико-механический	То же
Волнограф НИИТавтопром	Индуктивный	То же (по образующей и окружности)
Волнограф Киселева	»	Плоская
Волномер ЦКБПП	Механический	Цилиндрическая (по окружности)
Прибор Станкин-БВ	»	Цилиндрическая (по окружности и образующей)

3) специальные приборы для измерения волнистости — волнографы и волномеры: приборы БВ-6065, ИС-23, ПВ-1, НИИТавтопром и др.

Волнистость цилиндрических поверхностей измеряют:

1) приборами для измерения некруглости — кругломерами отечественных и зарубежных фирм (см. п. 3), приборами МПГ-3, Станкин-БВ и др.

2) специальными приборами для измерения волнистости — прибором ОКП-1 завода «Калибр» для измерения волнистости наружных и внутренних колец подшипников качения, прибором модели 267 завода «Калибр» для контроля волнистости беговых дорожек колец подшипников, волнографами ПВ-1 и ИС-23 и др.

Техническая характеристика некоторых специальных приборов для измерения волнистости приведена в табл. 10.20.

Список литературы

1. Абаджи К. И., Дружинин Б. И. и Исаев Б. И. Контроль взаимного расположения поверхностей деталей машин. Л., Машгиз, 1962, 116 с.

2. Авдулов А. Н., Табенкин А. Н. Современные приборы для контроля прямолинейности и плоскостности в станкостроении. М., НИИмаш, 1968, сер. С—П, 64 с.

3. Авдулов А. Н., Табенкин А. Н. Современные приборы для контроля круглости. М., НИИмаш, 1970, сер. С—П, 60 с.

4. Будгинас С. Ю., Вилкас А. Л., Кавалаяускас Р. С. и др. Накладной кругломер для контроля формы отверстий крупногабаритных деталей, — «Станки и инструмент», 1970, № 1, с. 39—40.

5. Григорьев И. А., Дворецкий Е. Р. Контроль размеров в машиностроении. М., Машгиз, 1959, 400 с.

приборов для измерения волнистости [6, 11]

ТАБЛИЦА 10.20

Увеличение		Длина трассы измерения в мм	Усилие ощупывания в сН	Радиус закругления щупа в мм	Скорость трассирова- ния в мм/мин	Способ регистрации
верти- кальное	горизон- тальное					
60—160	—	240	3000— 4000	5	—	Запись на бу- мажной ленте
450—4000	2—25	4—60	—	—	12	Запись на фотобумаге
500— 10 000	—	∅ 20—100	200	2,5	3 об/мин	Запись на бу- мажной ленте
300— 10 000	5—20	60	350	—	—	То же
—	—	∅ 10—35	50	0,75	14—47	Отсчет по шкале микро- катора
500— 5000	1,15—8	∅ 10—70	50— 400	0,1— 250	3,6—25,6	Запись на бу- мажной ленте

6. Дьяченко П. Е., Вайнштейн В. Э. и Грозинская З. П. Методы контроля и стандартизация волнистости поверхности. М., Стандартгиз, 1962, 96 с.

7. Контроль прямолинейности, плоскостности и соосности в стан-
костроении. Руководящие материалы. М., НИИмаш, 1971, 180 с.

8. Кутай А. К. Определение погрешностей формы поверхностей
в связи с установлением допусков. — «Стандартизация», 1960, № 7,
с. 7—11.

9. Левин Б. М. Оптическая линейка ИС-36, ЛДНТП, 1966, 44 с.

10. Линник В. П. Интерферометр для контроля больших машинных
деталей. — В кн.: Приборы для измерения длин и углов. Л., Машгиз,
1948, с. 7—16.

11. Лоповок Т. С. Волнистость поверхности и ее измерение. М.,
Изд-во стандартов, 1973, 184 с.

12. Мартынов В. Т. Средства высокоточного контроля непрямо-
линейности поверхностей. — В кн.: Контроль отклонений формы
и расположения поверхностей. Материалы семинара. МДНТП
им. Ф. Э. Дзержинского, 1970, с. 64—76.

13. Медянцева Л. Л., Горбачева В. В., Шарова Е. Е. Контроль
прямолинейности и плоскостности поверхностей. М., Изд-во стандар-
тов, 1972, 118 с.

14. Палей М. А. Отклонение формы и расположения поверхностей.
2-е изд., М., Изд-во стандартов, 1973, 244 с.

15. Розенберг Э. И. Измерение несоосности отверстий среднегаба-
ритных изделий. — В кн.: Взаимозаменяемость и технические измере-
ния в машиностроении, № 5, М., «Машиностроение», 1967, с. 259—273.

16. Рубинов А. Д. Измерение эксцентриситета изделий, устанавли-
ваемых в центрах. — «Измерительная техника», 1958, № 1, с. 12—16.

ГЛАВА ОДИННАДЦАТАЯ

МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРИЕМОЧНОГО КОНТРОЛЯ. АКТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ

1. КЛАССИФИКАЦИЯ И ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

Основой выбора и применения средств автоматического контроля размеров должна быть глубокая связь с технологическим процессом обработки деталей. По способу связи и воздействию на технологический процесс средства автоматического контроля классифицируются следующим образом:

1) средства статистического контроля, при использовании которых делается выборка из обработанных деталей и по результатам измерения корректируется технологический процесс;

2) средства активного контроля, с помощью которых производится переключение режима или прекращение технологического процесса при достижении заданного настройкой размера обрабатываемой детали;

3) средства активного контроля, с помощью которых осуществляется поднастройка прибора или регулирование положения режущего инструмента относительно обрабатываемой поверхности по результатам измерения деталей, обработанных на технологическом оборудовании;

4) средства приемочного контроля, предусматривающие 100-процентный контроль деталей с их сортировкой на группы: «годные», «брак»;

5) средства многодиапазонной сортировки, которые осуществляют распределение деталей на несколько групп с заданным интервалом сортировки; применяются при селективной сборке сопряжений.

По степени автоматизации автоматические средства контроля подразделяются на визуальные приборы или приспособления, механизированные приборы или приспособления со светосигнальной или цифровой индикацией, полуавтоматы и автоматы.

Степень необходимой автоматизации контрольных операций определяется экономической целесообразностью, увеличением производительности труда, повышением качества продукции [6, 13]. Для обеспечения необходимых параметров средства автоматического контроля должны эксплуатироваться при уровне вибрации и температурном режиме, заданных в паспорте. Проверка средств контроля должна проводиться по единой методике на всех стадиях изготовления и эксплуатации.

Основными узлами средств автоматического контроля являются: измерительный преобразователь, измерительная станция, устройства пороговое, загрузочное, транспортирующее, запоминающее, исполнительное (сортировочное) и преобразующие. В зависимости от вида средств автоматического контроля упомянутые устройства могут входить в конструкцию частично и в различном сочетании.

2. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ (ДАТЧИКИ)

Преобразователи измерительные воспринимают измеряемую величину и вырабатывают сигнал измерительной информации в форме, удобной для передачи и дальнейшего преобразования. Характеристики измерительных преобразователей приведены в табл. 11.1.

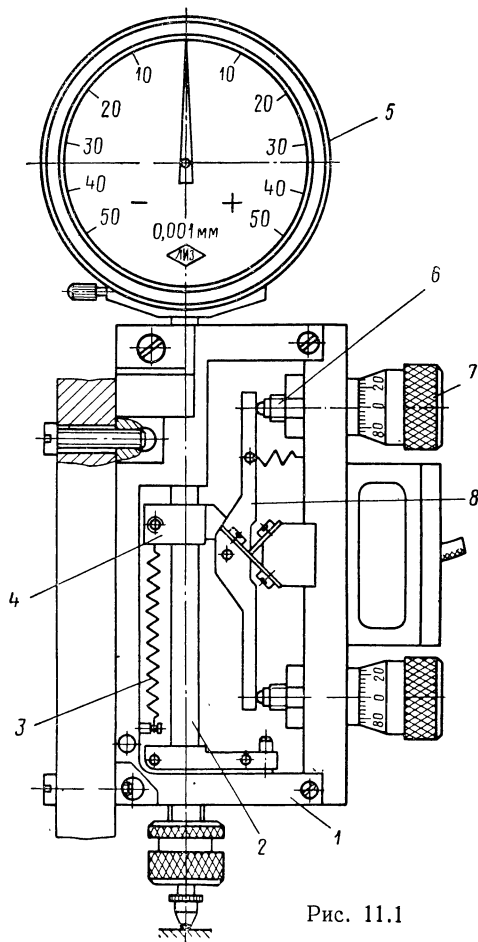


Рис. 11.1

Электроконтактные преобразователи с регулируемыми контактами выпускаются по ГОСТ 3899—68.

Преобразователи электроконтактные предельные моделей 228, 229, 230, 233 имеют рычажный механизм. Конструкция преобразователя унифицирована (рис. 11.1). Механизм датчика размещен в корпусе 1,

Характеристика измерительных

Наименование	Модель	Изготовитель	Диапазон измерений в мм
Электр о к о н т а к т н ы е п р е			
Преобразователь электроконтактный предельный	228	Завод «Калибр»	0—1
То же с измерительной головкой модели 1МИГ	228	То же	0—1
То же с измерительной головкой модели 1ИГ	228	»	0—1
Преобразователь электроконтактный предельный	229	«Калибр» (по заказам)	0—1
То же с измерительной головкой модели 1МИГ	229	То же	0—1
То же с измерительной головкой модели 1ИГ	229	»	0—1
Преобразователь электроконтактный предельный	230	«Калибр»	0—1
То же с измерительной головкой модели 1МИГ	230	»	0—1
То же с измерительной головкой модели 1ИГ	230	»	0—1
Преобразователь электроконтактный амплитудный	231	«Калибр»	0—0,2
То же с измерительной головкой модели 1МИГ	231	»	0—0,2
То же с измерительной головкой модели 1ИГ	231	»	0—0,2
Преобразователь электроконтактный предельный малогабаритный	233	«Калибр»	0—0,4
Преобразователь электроконтактный амплитудный	248	«Калибр»	0—0,2
То же с измерительной головкой модели 1МИГ	248	»	0—0,2
То же с измерительной головкой модели 1ИГ	248	»	0—0,2
Преобразователь электроконтактный малогабаритный	КДМ-13	ЛИЗ	0—3
То же амплитудный	КДМ-14	ЛИЗ	0—3

ТАБЛИЦА 11.1

преобразователей (датчиков)

Цена деления настроечного винта, шкалы в мм	Число групп сортировок	Погрешность в мм	Смещение настройки в мм за 4 ч работы	Измерительное усилие в сН (Гс)	Габаритные размеры в мм
образователи (датчики)					
0,002	3	0,001	$\pm 0,001$	300	—
0,001	3	0,001	$\pm 0,001$	500	—
0,001	3	0,001	$\pm 0,001$	500	—
0,002	4	0,001	$\pm 0,001$	500	—
0,001	4	0,001	$\pm 0,001$	головки 200	—
0,001	4	0,001	$\pm 0,001$	» 150	—
0,002	4	0,001	$\pm 0,001$	500	—
0,001	4	0,001	$\pm 0,001$	головки 200	—
0,001	4	0,001	$\pm 0,001$	» 150	—
0,002	3	0,001	$\pm 0,001$	300	—
0,001	3	0,001	$\pm 0,001$	головки 200	—
0,001	3	0,001	$\pm 0,001$	» 150	—
0,001	3	0,0005	$\pm 0,001$	80	—
0,02	3	0,001	$\pm 0,001$	300	—
0,001	3	0,001	$\pm 0,001$	головки 200	—
0,001	3	0,001	$\pm 0,001$	» 150	—
0,005	3	0,002	$\pm 0,003$	300	96×45×17
0,005	3	0,003	$\pm 0,006$	—	96×45×17

Наименование	Модель	Изготовитель	Диапазон измерения в мм
Преобразователь электроконтактный однопредельный безрычажный	И-28	—	0—0,5
Преобразователь электроконтактный предельный	И-30	—	0—0,35
Преобразователь электроконтактный предельный безрычажный	2И-20	—	0—3
Преобразователь электроконтактный	2И-19 2И-18		0—0,3 0—0,5
Преобразователь многоконтактный сортировочный	И-29	—	0—1
Преобразователь электроконтактный сортировочный	БВ-6048	Разработан Бюро взаимозаменяемости Министерства станкостроительной и инструментальной промышленности СССР	0,035—0,7
Преобразователь электроконтактный	«Нормаль» № 4000 «Цверг» № 4010	Предприятие FMS (ГДР)	$\pm 0,3$ ± 1
Преобразователь многоконтактный	Шальт-электрокомпар	Предприятие FMS (ГДР)	0,17—1,7
Преобразователь электроконтактный предельный	«Эльмесс» № 1100 5160	Фирма «Carl Mahr» (ФРГ) Фирма «Johanson» (Швеция)	0,8 2,5

Продолжение табл. 11.1

Цена деления настроечного винта, шкалы в мм	Число групп сортировки	Погрешность в мм	Смещение настройки в мм за 4 ч работы	Измерительное усилие в сН (Гс)	Габаритные размеры в мм
0,05	2	$\pm 0,001$	—	30—40	104×52×14
0,004	3	$\pm 0,0005$	—	150—250	109×38×12
0,0035	3	$\pm 0,001$	—	150—250	110×58×14
0,0035 0,0035	4 6	$\pm 0,0005$ $\pm 0,0005$	—	250—350 450—550	190×72×14 120×70×28
—	50	$\pm 0,0004$	—	100—200	155×133× ×120
—	35	$\pm 0,0002$ — $\pm 0,002$	0,5 от интервала сортировки	250	210×50×64
0,001	—	$\pm 0,001$	—	250	160×88×32
0,005	—	—	—	—	120×42×16
—	35	$\pm 0,0005$ — $\pm 0,001$	—	—	—
—	—	$\pm 0,0003$	—	150	∅22×118
—	3	0,001	—	—	30×60

Наименование	Модель	Изготовитель	Диапазон измерений в мм
Электрoкoнтaктные			
Головки электроконтактные пружинные	ЭГП	ЛИЗ	$\pm 0,05$
Головки электроконтактные рычажно-зубчатые	ЭЭКШ	КРИН	$\pm 0,25$
Головки электроконтактные рычажно-зубчатые (ГОСТ 11703—66)	ЭГР	КРИН	$\pm 0,05$
Головки электроконтактные шкальные	—	Фирма «Теса» (Швейцария)	3
	1105	Фирма «Carl Mahr» (ФРГ)	$\pm 1,5$
	1110		$\pm 0,25$
	1115	То же	$\pm 0,130$
	1120	»	$\pm 0,050$
Пневмoэлектрoкoнтaктные			
Преобразователь пневмоэлектроконтактный мембранный	П1 (БВ-Н808)	«Калибр» (по заказам)	—
То же, предельный и амплитудный с сильфонами нормальной и повышенной жесткости	П2 (236-1; 236-2)	«Калибр»	80 (± 40) **
То же предельный	П2 (249-1; 249-2)	»	80 (± 40) **
»	П6 (235-1; 235-2)	»	80 (± 40) **
» повышенной точности	343 (БВ-6034М)	»	80 (± 40) **
» с регулируемой передачей	344 (БВ-6074)	»	80 (± 40) **
То же с механическим суммированием	242	«Калибр» (по заказам)	60 **
То же сортировочный	БВ-6010	Разработан Бюро взаимозаменяемости Министерства станкостроительной и инструментальной промышленности СССР	80 (± 40) **
Дельтаметр	—	Фирма «Johanson» (Швеция)	0,01—0,7

Продолжение табл. 11 1

Цена деления настроечного винта, шкалы в мм	Число групп сорт- ировки	Погрешность в мм	Смещение настройки в мм за 4 ч работы	Измеритель- ное усилие в сН (Гс)	Габаритные размеры в мм
шкальные головки					
0,001	3	0,0005	$\pm 0,0005$	200	—
0,01	3	0,0008	$\pm 0,0008$	200	—
0,001	3	0,0005	$\pm 0,0005$	200	—
0,001	—	0,0005	0,001	100—250	—
0,1 и 0,05	—	$\pm 0,005$	—	—	—
0,01	—	$\pm 0,0015$	—	—	—
0,005	—	$\pm 0,001$	—	—	—
0,001	—	$\pm 0,0003$	—	—	—
преобразователи (датчики)					
—	2	$\pm 5^*$	5^*	—	140×60×85
0,0002—0,002	$3/2$	$\pm 10^*$	10^*	—	120×108× ×100
0,0002—0,002	3	$\pm 10^*$	10^*	—	—
0,0002—0,002	7	$\pm 10^*$	10^*	—	—
0,0001— 0,0005	3	7^*	7^*	—	—
0,0002—0,002	3	10^*	10^*	—	—
0,0002—0,002	3	10^*	10^*	—	—
0,0002—0,002	52	$\pm 10^*$	10^*	—	—
—	13	$\pm 0,0002—$ $0,0005$	—	200±10	—

Наименование	Модель	Изготовитель	Диапазон измерений в мм
Фотоэлектрические			
Преобразователь фотоэлектрический сортировочный	ПФС5	ЛИЗ	0,025
Преобразователь фотоэлектрический сортировочный	ПФС1	ЛИЗ	0,05
	ПФС2	ЛИЗ	0,01
	ПФС5	ЛИЗ	0,25
Преобразователь фотоэлектрический	Фотоэлектришер Фейнцайгер	FMS (ГДР)	—
Преобразователь пневмофотоэлектрический дифференциальный	БВ-6054	Разработан Бюро взаимозаменяемости	0,125
Преобразователь фотоэлектрический импульсный	ДФИ	Разработан Львовским политехническим институтом	0,05
	МДФИ	ЛИЗ	0,06
Индуктивные			
Преобразователь индуктивный	222 (БВ-6009)	«Калибр»	0,001 — 0,025
	223 (БВ-6033М)	»	0,06 — 0,12
	234 (БВ-6085)	»	До 15
Преобразователь перемещений индуктивный	—	Институт машиноведения (Москва)	$\pm 0,050$

Продолжение табл. 11.1

Цена деления настроечного винта, шкалы в мм	Число групп сортировки	Погрешность в мм	Смещение настройки в мм за 4 ч работы	Измерительное усилие в сН (Гс)	Габаритные размеры в мм
преобразователи					
0,0005	10, 20, 30, 36, 40, 50	$\pm 0,00012$	0,00015	200	110×156× × 360
0,001	10, 20,	$\pm 0,00025$	0,0003	200	110×156× × 360
0,002	30, 36,	$\pm 0,0005$	0,0006	200	110×156× × 360
0,005	40, 50	$\pm 0,0012$	0,0015	200	110×156× × 360
0,0005	16	—	—	250	—
—	48	$\pm 0,0002$	—	—	172×92×292
—	50	0,0002	0,0001	150	180×100× × 340
—	30	0,0005	—	200	140×86×78
преобразователи					
0,00002— 0,0005	—	0,5 ***	—	50	—
0,0001—0,002	—	0,5 ***	—	25	—
0,0005—0,05	—	0,5 ***	—	90	—
—	—	$\pm 0,0002$	—	100—120	—

Наименование	Модель	Изготовитель	Диапазон измерений в мм
Преобразователь контроля размеров индуктивный	ИЛП-2	Институт машиноведения Латвийской ССР	0,1—5,5
Устройство отсчетное с двумя индуктивными преобразователями	БВ-6070М БВ-3103-1	«Калибр» »	— 2
Устройство отсчетное с одним индуктивным преобразователем	БВ-3103-2	«Калибр»	1
Емкостные			
Преобразователь емкостный для контроля диаметра тонкой проволоки	—	—	0—0,010
Радиоизотопные			
Преобразователь контроля толщины проката	ИТ-5250	—	0,4—4
Механотронные			
Механотрон	СМХ1С	—	$\pm 0,1$
	6МХ2Б	—	$\pm 0,1$
	6МХ4С	—	$\pm 0,5$
	6МХ5С	—	$\pm 1,0$
	РСА—5734	США	$\pm 0,005$
Отсчетно-измерительная система с механотронным преобразователем	БВ-3040У	«Калибр»	$\pm 0,005$ — $\pm 0,05$
Примечания.			
1. Для электроконтактных преобразователей и головок погрешности			
2. В фотоэлектрических преобразователях приведена погрешность пока			
3. * — погрешности указаны в мм вод. ст.; ** — количество делений			

Продолжение табл. 11.1

Цена деления настроечного винта, шкалы в мм	Число групп сортировки	Погрешность в мм	Смещение настройки в мм за 4 ч работы	Измерительное усилие в (сН) (Гс)	Габаритные размеры в мм
—	—	$\pm 0,01$	—	250	—
0,00002— 0,0005	100 **	—	—	—	—
0,0001—0,002	60 **	—	—	—	—
0,0001—0,002	60 **	—	—	—	—
преобразователи					
0,00003	—	—	0,0001	—	—
преобразователи					
—	—	$\pm 1,5$ ***	—	—	—
преобразователи					
—	—	4 ***	—	15	—
—	—	1 ***	—	25	—
—	—	1 ***	—	40	—
—	—	1 ***	—	40	—
—	—	4—5 ***	—	—	—
0,0001— 0,001	—	—	—	—	—

указаны в виде нестабильности замыкания контактов.
заний.
шкалы; *** — нелинейность характеристики в %.

закрытом крышками из органического стекла. Изменение размера вызывает перемещение измерительного штока 2 и поворот двуплечевого рычага 8 с подвижными контактами. При замыкании подвижных контактов с неподвижными контактами 6, вмонтированными в оцифрованные регулируемые барабанички 7, настраиваемые по образцовым деталям, выдается команда. Измерительное усилие создается пружиной 3, которая может регулироваться передвигной планкой 4, закрепленной на измерительном штоке. Крепление датчика может производиться

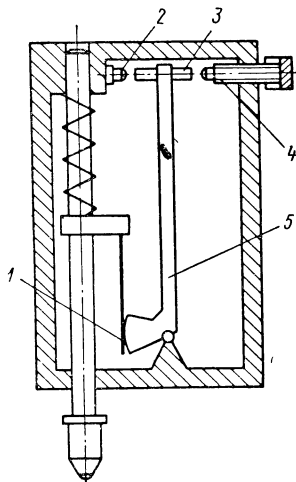


Рис. 11.2

либо с помощью двух резьбовых отверстий на боковой стенке корпуса, либо за гильзу измерительного штока. В некоторых конструкциях в верхней части преобразователя имеется посадочное отверстие, куда может быть установлена измерительная головка 5 для настройки и наблюдения за измеряемым размером.

Электроконтактные амплитудные преобразователи моделей 231, 248 предназначены для контроля разности размеров. В конструкцию преобразователя введена фрикционная пара (рис. 11.2), состоящая из рычага 5 с сектором и плоской пружины 1. При движении измерительного штока пружина, закрепленная на нем, увлекает рычаг с сектором. При встрече подвижных контактов 3 с неподвижными 2 и 4 рычаг останавливается, а при перемещении штока пластина скользит по сектору. Настройка производится по образцовой детали с помощью одного регулируемого контакта 4. Контакт 2 жестко закреплен в корпусе преобразователя. Неподвижные контакты в электрическую цепь, фиксирующую наличие брака,

должны быть включены последовательно.

Электроконтактные преобразователи моделей КДМ-13 (рис. 11.3) и КДМ-14 имеют безрычажное исполнение. Крепление преобразователя производится за гильзу $\varnothing 8$ мм. Фрикционная пара амплитудного преобразователя КДМ-14 обеспечивается с помощью пластинчатой пружины, прижимающей плавающий подвижный контакт.

Остальные конструкции электроконтактных преобразователей с регулируемыми контактами сохраняют принцип действия описанных выше преобразователей. Электроконтактные преобразователи с регулируемыми контактами в основном применяются для контроля размеров деталей с высокой поверхностной твердостью и сортировкой на две—четыре группы.

Электроконтактные преобразователи с нерегулируемыми контактами в большинстве случаев применяются для многодиапазонной размерной сортировки. Выходной сигнал снимается с ламельной планки, у которой номер ламели определяет номер сортировочной группы. В преобразователях модели БВ-6048 (рис. 11.4) народного предприятия ФМС (ГДР) и ряде других преобразователей в качестве подвижного контакта используется указатель 3 (стрелка), получающий движение

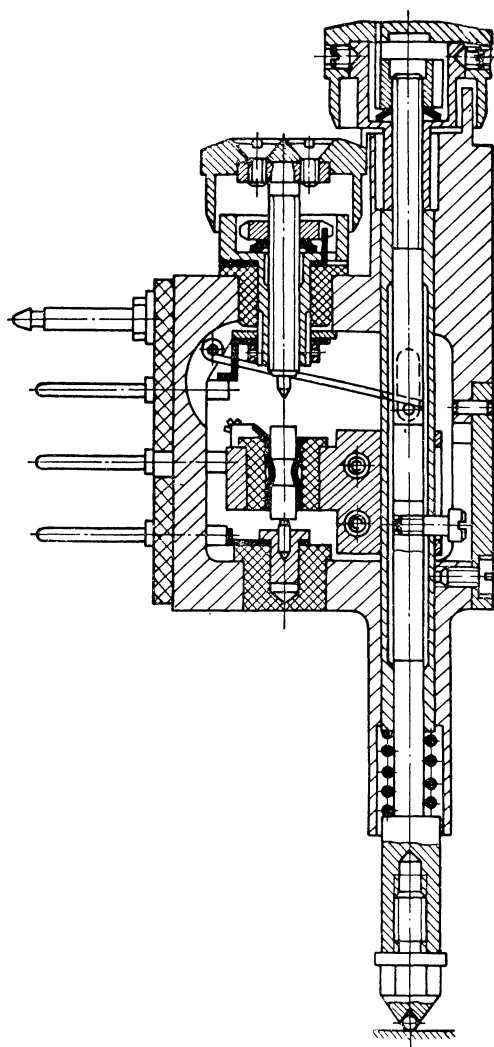


Рис. 11.3

от измерительного штока 1 через зубчатую пару 2. После успокоения указателя включается электромагнит 6, стрелка притягивается, западая в один из зубьев рейки 5 и замыкая определенную ламель 4, номер которой определяет номер сортировочной группы.

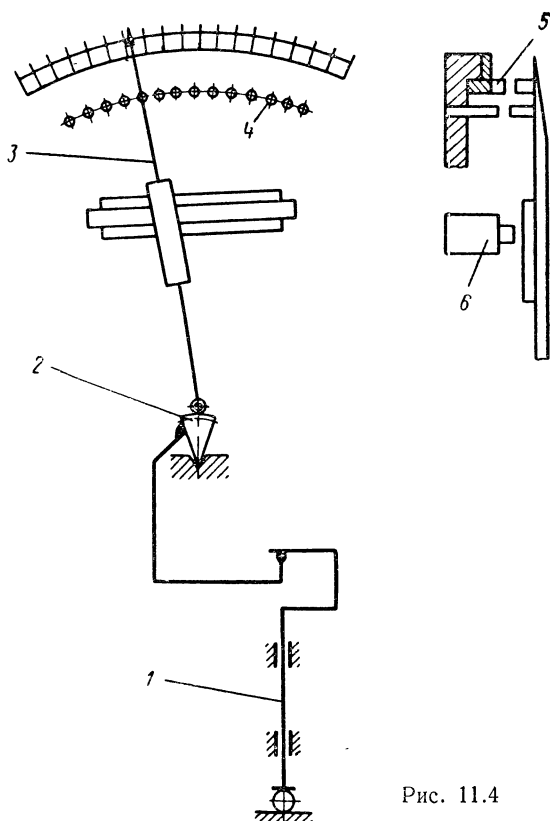


Рис. 11.4

Электроконтактные преобразователи с регулируемым контактами в меньшей степени подвержены влиянию эрозии и коррозии.

Электроконтактные шкальные головки сконструированы на базе пружинных (рис. 11.5) или рычажно-зубчатых измерительных приборов. Передаточный механизм прибора помимо передачи движения на указатель воздействуют на контактные пары, встроенные в прибор.

Электроконтактные преобразователи обычно работают по схеме «с сеточным контактом», т. е. их контакты включены в цепи сеток электронных ламп. При «силовом» включении, когда непосредственно к кон-

тактам подключены реле или лампочки, происходит более быстрое обгорание контактов. В последние годы контакты стали включаться в транзисторные схемы.

В пневмoeлектроконтактных преобразователях в качестве чувствительных элементов используются мембраны (преобразователи модели П1), сильфоны нормальной и повышенной жесткости (преобразователи моделей П2, П6, 343, 344, 242) и специальные трубы. Наибольшее распространение получили сильфонные пневмoeлектроконтактные преобразователи (рис. 11.6). Стабилизированный и очищенный воздух через входные сопла 1 поступает к сильфонам 2, концы которых связаны стяжками 3, закрепленными на пружинном параллелограмме 4. Ход параллелограмма ограничен упорами 9. На сильфонах с помощью плоских пружин укреплены подвижные контакты 11. Если производится измерение размера в одном сечении, то в преобразователе устанавливается винт противодействия 10, а канал 5 перекрывается, что позволяет создать в левом сильфоне постоянное давление. Полость правого сильфона через канал 8 соединена с измерительными соплами. При измерениях разности размеров узел противодействия перекрывается, а каналы 5 и 8 соединяются с измерительной оснасткой. При изменении измерительного давления перемещаются сильфоны с подвижными контактами, замыкая определенное число неподвижных контактов 12, смонтированных в регулируемые барабанчики. Одновременно с сильфонами по шкале 7 преобразователя перемещается стрелка 6, связанная со стяжками 3 через зубчатую передачу.

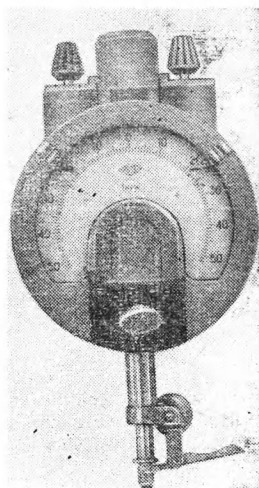


Рис. 11.5

Имеются также пневмoeлектроконтактные преобразователи с контактной четырехклапанной дифференциальной измерительной головкой — дельтаметры, позволяющие повысить быстродействие измерительной системы [7]. Характеристики преобразователей приведены в табл. 11.1. Пневмoeлектроконтактные преобразователи рекомендуется применять для бесконтактных измерений, когда на измеряемой поверхности нельзя оставлять следов и не требуется высокая производительность.

Фотоэлектрические сортировочные преобразователи модели ПФС (рис. 11.7) предназначены для многодиапазонной размерной сортировки и выпускаются по ГОСТ 15900—70. Световой поток осветителя 5 (рис. 11.8) направляется на зеркальце 4, закрепленное на скрученной ленте 3, которая растягивается через угловую подвеску 2 при изменении положения измерительного штока 1. Угол поворота зеркальца пропорционален перемещению измерительного штока. Отражаясь от зеркальца, световой индекс попадает на один из фоторезисторов 6, номер которого определяет номер сортировочной

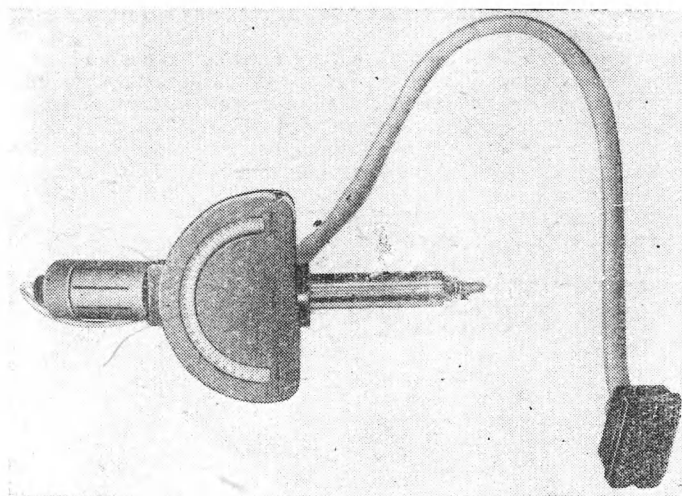


Рис. 11.7

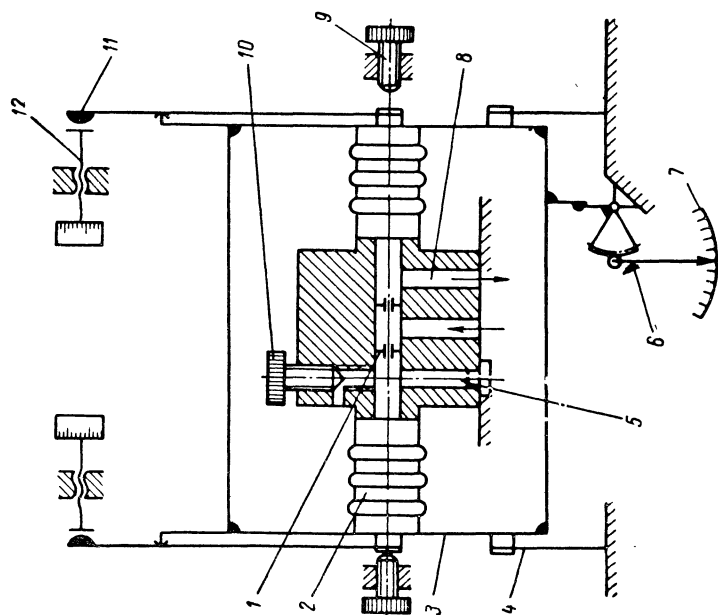


Рис. 11.6

группы. Одновременно световой индекс попадает на шкалу визуального отсчета 7. Аналогичный принцип действия имеют преобразователи народного предприятия FMS (ГДР).

Фотоэлектрические преобразователи импульсных моделей ДФИ и МДФИ также имеют пружинно-оптический передаточный механизм. В преобразователях перемещение све-

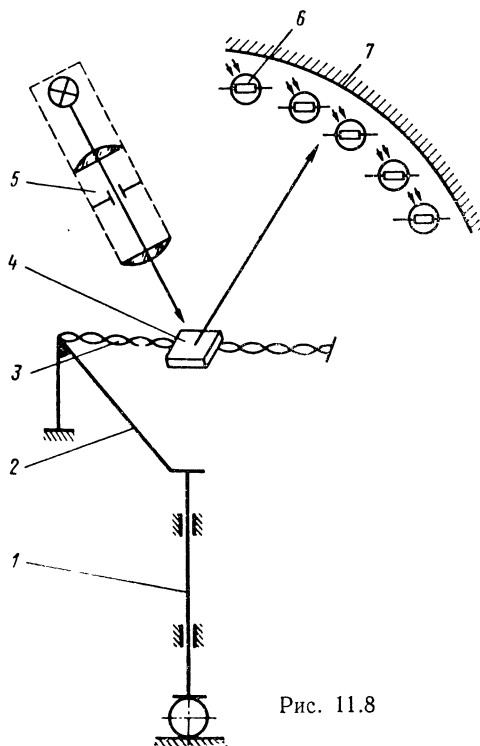


Рис. 11.8

тового индекса осуществляется по растровым решеткам и преобразуется в электрические сигналы, воспринимаемые счетно-решающей схемой.

В некоторых преобразователях используется сочетание пневматического и фотоэлектрического принципов преобразования измерительной информации (преобразователь модели БВ-6054). В ряде случаев используются фотоэлектрические преобразователи непосредственного действия и с перекрытием светового потока заслонкой [5].

Преобразователи индуктивные выпускаются совместно с электронными блоками, построенными по мостовой, трансформаторной или контурной схемам. В большинстве случаев преобразователь состоит (рис. 11.9) из корпуса 1, защищающего преобразователь от внешних

наводок. В корпусе помещены две катушки 2, включенные в электрический мост. На измерительном штоке 3, подвешенном на мембранах, закреплены два диска-якоря 4, при смещении которых меняется зазор между якорем 4 и катушкой 2, что ведет к изменению индуктивности катушек и разбалансу электрического моста.

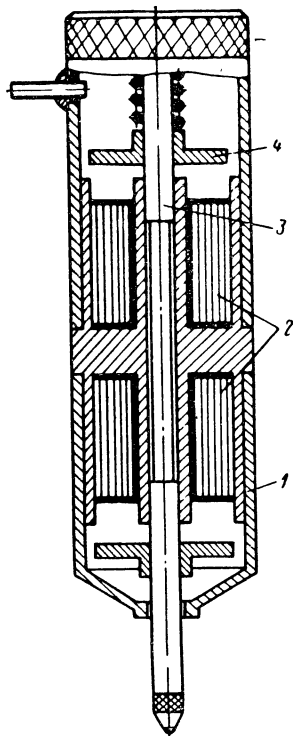


Рис. 11.9

Одинарные индуктивные преобразователи с одной катушкой применяются редко, так как их выходной сигнал имеет нелинейную характеристику, а на якорь действует односторонняя нагрузка, вызывающая значительный перепад измерительного усилия. Чаще применяются дифференциальные преобразователи, которые более чувствительны и обладают значительной зоной линейной характеристики.

Бесконтактные измерения индуктивными преобразователями могут производиться в том случае, если контролируемая деталь изготавливается из ферромагнитного материала. Так как погрешность бесконтактных измерений больше, чем при контактных, некоторые фирмы используют сочетание индуктивного принципа измерений с другими принципами. Так, в пневмоэлектрическом преобразователе фирмы «Токио Сеймицу» (Япония) измерительный шток индуктивного преобразователя контактирует с мембраной пневматической измерительной системы.

Трансформаторные преобразователи представляют собой устройства, основанные на изменении индуктивной связи между двумя системами катушек при изменении входной величины. Основное конструктивное отличие трансформаторных преобразователей

от индуктивных заключается в том, что трансформаторные преобразователи имеют две гальванически несвязанные системы катушек.

Индуктивные и трансформаторные преобразователи при незначительной погрешности, до 0,05 мкм, обладают высокой производительностью, до 20 000 измерений в час. Их рекомендуется применять при прецизионных измерениях, активном контроле и необходимости выполнения логических операций.

Механотронные преобразователи работают по принципу изменения характеристик электронных и ионных ламп при взаимном перемещении их электродов [6]. Механотроны изготавливаются на основе диодов, триодов и тетродов с подвижными анодами, катодами или сетками. Наибольшее распространение получили преобразователи, выполненные в виде сдвоенного диода (рис. 11.10). Механотрон содержит вакуумный корпус-баллон 1, аноды 2 и 5, которые закреплены в изоля-

торе 3, и накалинный катод 4. Ввод перемещения внутрь колбы осуществляется через мембраны или гофрированные трубки 6.

В промышленности также находят применение следующие преобразователи: емкостные, преобразующие изменение входной величины в изменение емкости [4]; гальваномагнитные, основанные на использовании эффектов Гаусса и Холла [10]; пьезоэлектрические, у которых перемещение измерительного стержня приводит к появлению на поверхности кристаллов, размещенных внутри преобразователя, противоположных электростатических зарядов [6]; радиозотопные и рентгеновские, основанные на использовании свойств радиоактивных и рентгеновских излучений проникать через вещество или отражаться от него [6], а также другие преобразователи, основанные на различных принципах преобразования измерительной информации.

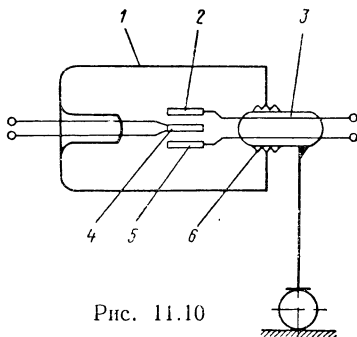


Рис. 11.10

3. НОРМАЛИЗОВАННЫЕ УЗЛЫ СРЕДСТВ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Унификация, агрегатирование и стандартизация привели к созданию блочной конструкции автоматических средств, при которой каждый блок представляет самостоятельный функциональный орган [14], что позволило наладить серийный выпуск наиболее распространенных узлов.

Электронные реле (табл. 11.2) предназначены для усиления, размножения и преобразования сигналов измерительной информации, поступающей от электроконтактных преобразователей [12]. Контакты преобразователей включаются в цепь сеток электронных ламп, в анодную цепь которых установлены электромагнитные реле. От реле сигнал поступает либо на лампочки световорного устройства, которое может поставляться совместно с электронным реле, либо коммутирует цепи устройства, куда встроено электронное реле.

Пороговые устройства к аналоговым преобразователям серийно не выпускаются. В автоматических средствах контроля пороговые схемы выполняются на базе магнитоэлектрических приборов, у которых под шкалой расположены ламели или фотоприборы; в виде делителей напряжения; на базе блокинг-генераторов; путем включения в мостовые электрические схемы и т. д.

Блок-приставки моделей 70405—70408 (табл. 11.3) предназначены для преобразования информации, поступающей от фотоэлектрического преобразователя типа ПФС, в дискретную информацию о номере сортировочной группы. Блок-приставка состоит (рис. 11.11) из блока питания, стабилизатора напряжения и релейной пороговой схемы. При включении тумблера *T* загорается сигнальная лампочка *Л* и напряжение через трансформатор *Tr* и селеновый выпрямитель

ТАБЛИЦА 11.2

Характеристика электронных реле
к электроконтактным преобразователям

Наименование	Модель ¹	Количество команд (сигналов)	Количество соединительных блок-приставок	Длительность принятой команды в м/с не менее	Максимальное число срабатывания в с	Количество выходных контактов (переключающих групп) на одну команду
Электронные реле много- блочные со светофорными устройствами:	209					
с двумя блок-при- ставками		8	2			
с тремя блок-при- ставками		12	3	20	14	4
с четырьмя блок-при- ставками		16	4			
с пятью блок-при- ставками		20	5			
Электронные реле много- блочные:	237					
с двумя блок-при- ставками		8	2			
с тремя блок-при- ставками		12	3	20	14	4
с четырьмя блок- приставками		16	4			
с пятью блок-при- ставками		20	5			
Электронные реле	238	2	1	20	14	5
То же (без запоминания)	238-I	2	1	20	14	3
Электронные реле с уси- ленными контактами	238-II	2	1	20	14	3
Электронные реле быстро- действующие	220	2	1	1	10	5
Блоки питания к элект- ронным реле моделей 209 и 237	210	—	—	—	—	—

¹ Изготовитель — завод «Калибр»

ТАБЛИЦА 11.3

Характеристика блок-приставок
к фотоэлектрическим преобразователям типа ПФС

Наименование	Модель ¹	Количество команд (сигналов)	Количество соединительных блок-приставок	Максимальное число срабатывания в с	Количество выходных контактов (переклю-чающих групп) на одну команду
Блок-приставки	70405	20	1	2	2
	70406	30	1	2	2
	70407	40	2	2	2
	70408	50	2	2	2
¹ Изготовитель — Ленинградский инструментальный завод.					

подается на пороговую схему, состоящую из фоторезисторов преобразователя типа ПФС и подключенных к ним реле $P1-P21$ типа РКН. При достижении фототоком значения порогового тока реле срабатывает и через свои нормально разомкнутые контакты $1P1-1P21$ становится на самопитание, выдавая сигнал о принадлежности размера детали к определенной сортировочной группе. Для регулировки интервала сортировки служат переменные сопротивления $R5-R25$. Подача измерительного напряжения и блокировка реле могут осуществляться соответственно через кулачки командоаппарата $KИ$ и $KБ$, которые подключаются к блок-приставке через разъемы $РРЗ-10$ с клеммами $1a-1в$ и $2a-2в$.

С целью увеличения быстродействия Ленинградским инструментальным заводом (ЛИЗ) намечены к производству транзисторные блок-приставки к преобразователям типа ПФС.

Командоаппараты (табл. 11.4) предназначены для коммутации электрических цепей автоматических средств контроля в за-

ТАБЛИЦА 11.4

Характеристика командоаппаратов

Наименование	Модель	Завод-изготовитель	Количество независимых команд	Количество кулачков	Наибольшее (допустимое) число оборотов в минуту валика командоаппарата
Командоаппараты	205-1	«Калибр»	4	4	60
	205-2	»	6	6	60
	205-3	»	10	10	60
	Н55.685-67	ЛИЗ	1	—	150
Токопрерыватель к командоаппарату					

данные циклограммой моменты времени. Командоаппарат состоит из регулируемых непрерывно вращающихся кулачков и контактных пар, управляемых кулачками.

Стабилизаторы давления воздуха (табл. 11.5) и фильтры для очистки воздуха (табл. 11.6) применяют в пневматических измерительных системах, обеспечивая подачу к измерительной пневматической оснастке очищенного воздуха с малыми перепадами давления. Стабилизаторы давления выпускаются по ГОСТ 14682—69, фильтры — по ГОСТ 14266—69. Чем чище воздух и меньше колебание давления, тем выше точность контроля.

Действие стабилизатора основано на изменении площади проходного сечения канала стабилизатора при изменении давления в пневматической сети с целью поддержания постоянства давления на выходе

ТАБЛИЦА 11.5
Характеристика стабилизаторов давления воздуха
для пневматических измерительных систем

Наименование	Модель ¹	Расход воздуха в м ³ /ч		Диапазон регулирования давления на выходе в мПа	Допускаемое давление на выходе в мПа	
		наименьший	наибольший		наименьшее	наибольшее
Стабилизаторы давления воздуха к приборам для контроля линейных размеров	СВ1,6 (338)	0,04	1,6	0,5—2	3	6
	СВ6	0	6	0,2—2	3	6

¹ Изготовитель — завод «Калибр».

ТАБЛИЦА 11.6
Характеристика фильтров для очистки воздуха
пневматических измерительных систем

Наименование	Модель	Завод-изготовитель	Максимальный расход воздуха в м/ч	Допускаемое давление на выходе в мПа	Степень очистки воздуха в %	Падение давления на фильтре при давлении на выходе 3 мПа в мПа
Фильтры воздуха для пневматических приборов Патроны, фильтрующие к фильтру Фильтр групповой	ФВ6 (336)	«Калибр»	6	3—6	99,95	Не более 0,2
	336—0—01	»	6	—	99,95	То же
	БВ-3101	«Калибр» (по заказам)	30	3—6	99,90	0,2

стабилизатора. В стабилизаторах давления без усилителя (рис. 11.12) при уменьшении давления в камере 6, что может быть вызвано уменьшением сетевого давления или увеличением расхода воздуха, мембрана 3 опустится под действием пружин 2, увлекая за собой клапан 4, сжимающий пружину 5. Это приведет к увеличению проходного сечения, регулируемого клапаном 4, и обеспечит выравнивание давления в камере 6 до давления, заданного регулировкой винта 1. Увеличение давления

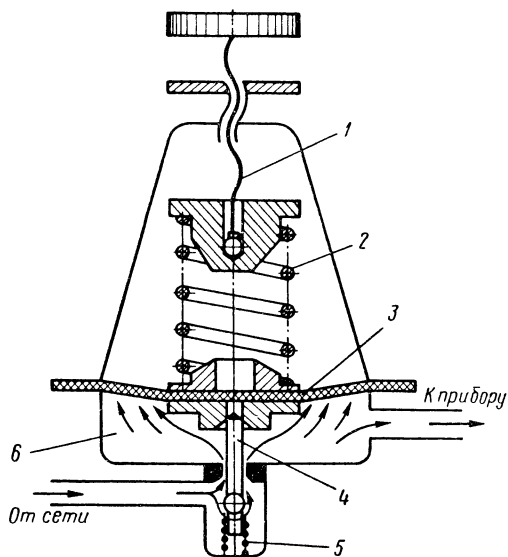


Рис. 11.12

в камере 6 вызовет обратное действие указанных частей стабилизатора. В стабилизаторах с усилителем перемещение клапана 4 осуществляется мембранами промежуточной усилительной камеры.

Для предварительной очистки воздуха применяются воздушные групповые фильтры модели БВ-3101, состоящие из металлокерамического фильтрующего элемента, цеолитного поглотителя, поглощающего влагу, и отстойника. Для окончательной очистки воздуха применяются индивидуальные фильтры модели 336, первая ступень которых, задерживающая масло и влагу, выполнена из стекловолокна, а вторая ступень — из фильтрующей ткани ФПП. Эффективность очистки фильтра достигает 99,95%.

Для обеспечения компактности конструкции промышленностью выпускаются блоки (ГОСТ 14683—69), содержащие стабилизатор и индивидуальный фильтр окончательной очистки воздуха (табл. 11.7).

ТАБЛИЦА 11.7

**Характеристика блоков фильтров со стабилизаторами
для пневматических измерительных систем**

Наименование	Модель ¹	Падение давления на фильтре при давлении на выходе 3 кгс/см ² в мПа	Степень очистки воздуха в %	Расход воздуха в м ³ /ч		Диапазон регулирования давления на выходе в мПа	Допускаемое давление на входе в мПа	
				наименьший	наибольший		наименьшее	наибольшее
Блоки фильтров со стабилизаторами давления воздуха к приборам для контроля линейных размеров	ФСВ1,6 (339)	Не более 0,2	99,95	0,04	1,6	0,5—2	3,2	6
	ФСВ6 (337)	То же	99,95	0	6	0,2—2	3,2	6

¹ Изготовитель — завод «Калибр».

4. МЕХАНИЗИРОВАННЫЕ И АВТОМАТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ И ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

В мелкосерийном, индивидуальном и специализированном производствах широко используются контрольные приборы и приспособления. Дальнейшее их развитие направлено на создание универсальных сборных легко перенастраиваемых контрольных приспособлений, представляющих собой набор независимых агрегатных узлов серийного производства. Такие приспособления могут изготавливаться в инструментальных цехах предприятия для деталей различного назначения.

Сборные контрольные приспособления представляют опорную плиту с Т-образными пазами, на которой устанавливаются поворотные стойки, передвижные сменные центра или призмы, шарнирные скобы и т. д.

К основным узлам приборов и приспособления относятся:

а) элементы крепления измерительных устройств, в качестве которых могут быть использованы универсальные измерительные приборы и измерительные преобразователи;

б) базирующие элементы: призмы, центра, оправки, столы;

в) зажимные устройства для закрепления контролируемых изделий: байонетные патроны, рукоятки, прижимы;

г) установочные устройства для установки и снятия контролируемых деталей;

д) передаточные устройства: рычаги, коромысла, пружинные параллелограммы;

е) исполнительные устройства: светофорные табло, экраны, блоки с цифровой индикацией;

ж) вспомогательные устройства для поворота и перемещения деталей во время измерения;

з) усилительно-преобразующие электронные блоки: усилители, пороговые устройства, электронные реле, блок-приставки.

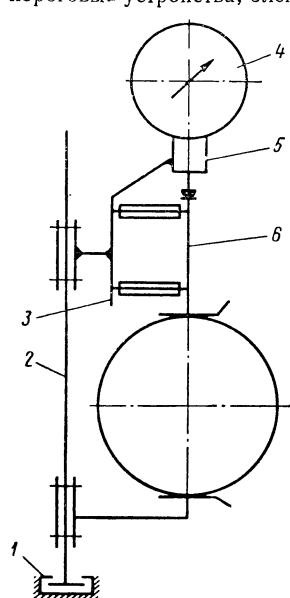


Рис. 11.13

Для сборных контрольных приспособлений могут быть использованы стойки моделей 71101 и 71201, выпускаемые Ленинградским инструментальным заводом, узлы многомерных приспособлений, изготавливаемые Кировским инструментальным заводом (табл. 11.8), и типовые узлы, выпускаемые инструментальными заводами, см. п. 3 настоящей главы. Узлы сборных приспособлений выпускаются также зарубежными предприятиями: предприятием FMS (ГДР), фирмами «Johanson» (Швеция) и «Matrix» (Англия).

В качестве измерительного устройства для контроля диаметров валов рационально применять регулируемые скобы (рис. 11.13). Скоба крепится на колонке 2, установленной на основании 1 приспособления. Губки 3 скобы могут перемещаться вдоль колонки. Подвижный измерительный наконечник 6 подвешен на одной из губок на плоских пружинах 5 и контактирует с одной стороны с контролируемым изделием, а с другой — с измерительной головкой или преобразователем 4.

Особенно широко используются сборные многомерные приспособления для контроля ступенчатых валов. На

рис. 11.14 показана схема многомерного прибора модели БВ-7221 для контроля размеров ползуна по шести параметрам.

На плите прибора монтируются призмы 1, упор 2, механизм арретирования 3, скобы 4 с измерительными наконечниками 5, измерительные рычаги 6 и кронштейн с электроконтактными измерительными преобразователями 7. В основании прибора размещается электрооборудование. Основание прибора закрыто кожухом, на передней стенке которого имеется световое табло.

Контролируемая деталь вручную укладывается на призмы лыской кверху и передвигается до упора. Поворотом ручки механизма арретирования 3 скобы 4 накладывают на измеряемую деталь и измерительные наконечники 5 входят в проточки детали. При дальнейшем повороте происходят поджим детали к упору 2 и разарретирование измерительных рычагов 6 и преобразователей. При отклонении ручки влево подается напряжение на измерительный преобразователь. При годной детали на световом табло загорается зеленая лампочка. Если же деталь

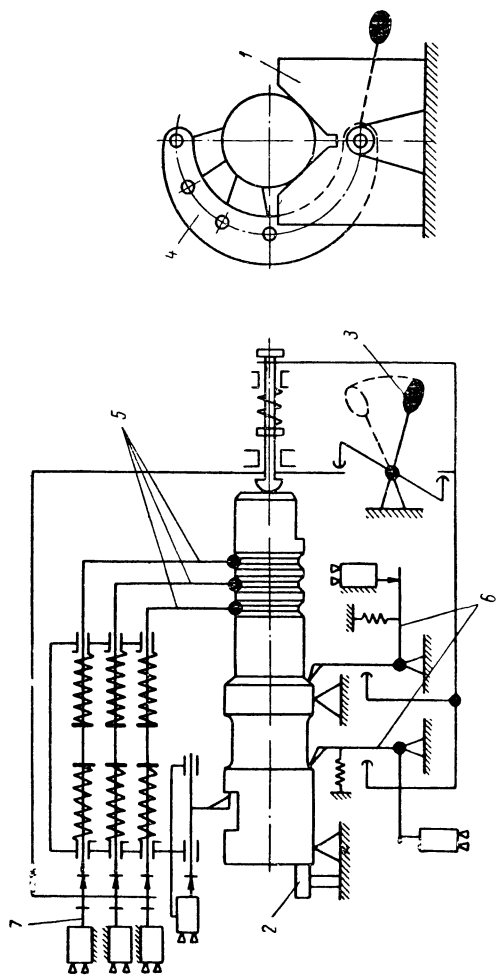


Рис. 11.14

ТАБЛИЦА 11.8

Характеристика механизированных и автоматизированных приборов и приспособлений

Тип детали или контролируемой величины	Модель	Изготовитель	Краткая характеристика
Линейные размеры	327	Завод «Калибр»	Прибор пневматический самобалансирующийся со светосигнальным устройством
			Цена деления шкалы в мм 0,0002 0,0005 0,001
			Погрешность в мм 0,0003 0,0005 0,0008
			Предел измерения в делениях 80 (± 40)
Линейные размеры	324	«Калибр»	Прибор пневматический самобалансирующийся для контроля линейных размеров
			Цена деления шкалы в мм 0,0002 0,0005 0,001
			Погрешность прибора в мм 0,0003 0,0005 0,0008
			Предел измерения в делениях 80 (± 40)
Линейные размеры	БВ-6062	«Калибр»	Прибор самопишущий электрический с записью чернилами в прямоугольных координатах; наибольшее номинальное значение увеличения — 5000; наименьшее — 200; ширина поля записи показаний — 160 мм; предельная частота записи 1 Гц; номинальное измерительное усилие не более 50 сН (Гс)
Линейные размеры	260	«Калибр»	Прибор самопишущий электрический с электротермической записью в прямоугольных координатах; наибольшее номинальное значение увеличения — 10 000; наименьшее — 100; ширина поля записи показаний 80 мм; предельная частота записи 6 Гц; номинальное измерительное усилие не более 125 сН (Гс)

Продолжение табл. 11.8

Тип детали или контролируемой величины	Модель	Изготовитель	Краткая характеристика
Внеие изделий	ПБ-200М ПБ-500М ПБ-1400	Челябинский завод мерительных инструментов (ЧЗМИ)	Приборы для контроля биений поверхностей с ценой деления 0,01; 0,002; 0,001 мм ПБ-200М ПБ-500М ПБ-1400 Наибольшее межцентровое расстояние в мм 200 500 1400 Высота центров в мм . . . 75 128 200
	БВ-7030 БВ-7017	Кировский инструментальный завод «КРИН»	Многомерные сборные приспособления для контроля диаметров, расстояний между уступами, погрешности форм и взаимного расположения поверхностей БВ-7030 БВ-7017 Наружный диаметр в мм: наименьший 2 10 наибольший 25 100 Длина или высота в мм . . . Не более 350 Не более 1200
Валы, кольца, втулки	БВ-1120 БВ-1115	«КРИН»	Многомерные сборные приспособления для контроля диаметров и высоты БВ-1120 БВ-1115 Наружный диаметр в мм: наименьший — 100 наибольший 100 250 Высота кольца в мм 100 140

Продолжение табл. 11.8

Тип детали или контро- лируемой величины	Модель	Изготовитель	Краткая характеристика
Валы, ползуны	БВ-7221	Разработан Бюро Взаимо- заменяемости (БВ)	Прибор для контроля осевых размеров ползуна по заданным параметрам с разбраковкой на «годные», «брак +» и «брак —». Количество контролируемых параметров — 6, погрешность контроля не более $\pm 0,0025$ мм, габаритные размеры $410 \times 207 \times 319$ мм
Кольца, ролики, иголки, штифты	В-901М	ЧЗМИ	Прибор для контроля высоты и диаметра колец, роликов, игловок. Наружный диаметр (длина) деталей до 60 мм, высота деталей до 80 мм, габаритные размеры $125 \times 185 \times 245$ мм, производительность до 400 шт./ч
	101/1999М	ЧЗМИ	Прибор для контроля диаметра, конусности, овальности и граничности конических роликов. Диаметры роликов в мм: наименьший 4,5, наибольший 50; длина роликов в мм: наименьшая 7, наибольшая 55; габаритные размеры $300 \times 290 \times 216$ мм; производительность до 200 шт./ч
Кольца	ПП-1М	ЧЗМИ	Прибор для контроля разностенности наружных и внутренних колец и граничности наружного диаметра. В комплект входит головка 031111. Диаметры отверстий колец в мм: наименьший 60, наибольший 170; габаритные размеры $330 \times 230 \times 290$ мм; производительность до 400 шт./ч
	305-М	ЧЗМИ	Прибор для проверки диаметра и овальности отверстий и контроля толщины стенок. Диаметр контролируемых изделий в мм: наименьший 15, наибольший 100; габаритные размеры $220 \times 220 \times 180$ мм; производительность до 400 шт./ч

Продолжение табл. 11.8

Тип детали или контро- лируемой величины	Модель	Изготовитель	Краткая характеристика
Кольца	В-902М, В-903М	ЧЗМИ	<p>Прибор для контроля высоты и непараллельности торцов</p> <p>В-902М В-903М</p> <p>Наружный диаметр контро- лируемых колец в мм . . . 50—150 150—250</p> <p>Высота колец в мм До 150 До 150</p> <p>Габаритные размеры в мм 300×190× 295×365× ×305 ×405</p> <p>Производительность в шт./ч 300 300</p>
	Д-312М	ЧЗМИ	<p>Прибор для контроля наружного диаметра, овальности, высоты и непараллельности торцов. Наружный диаметр колец в мм: наименьший 30, наибольший 120. Высота колец 8—60 мм; габаритные размеры 166×245×275 мм; производительность 400 шт./ч</p>
	293-М	ЧЗМИ	<p>Прибор для контроля диаметра, овальности отверстий, тол- щины стенок и эксцентриситетности. Диаметр отверстий колец в мм: наименьший 60, наибольший 200; габаритные размеры 280× ×260×280 мм; производительность до 300 шт./ч</p>

Продолжение табл. 11.8

Тип детали или контролируемой величины	Модель	Изготовитель	Краткая характеристика
Штоки автомобильных амортизаторов	БВ-7265.00.000	Разработан БВ	Прибор для контроля направляющих штока амортизатора с диаметром отверстия 12 и 14 мм и толщиной 11 и 14 мм. Контролю подлежат диаметры, торцовое и радиальное биения. Время измерения (без учета времени подвода и отвода измерительного устройства) 2 с; габаритные размеры 830×515×670 мм
Штоки автомобильных амортизаторов	БВ-7264.00.000	Разработан БВ	Прибор для контроля штоков амортизаторов диаметрами от 10 до 30 мм и длиной от 195 до 400 мм с измерением по следующим параметрам: а) диаметр в четырех сечениях; б) радиальное биение в трех сечениях в) неперпендикулярность для левого торца относительно оси штока. Время измерения (без учета подвода и отвода детали) 1—2,2 с; габаритные размеры 1160×470×585 мм
Корпуса распылителя топливной аппаратуры	ЦНИТА-3602М/3603М	ЛИЗ	Прибор для контроля биения уплотняющего конуса корпусов штифтовых распылителей. Величина контролируемого диаметра 2,8—3,3 мм; цена деления 0,0002 мм; погрешность 0,0004 мм, габаритные размеры 300×400×500 мм
Иглы распылителя топливной аппаратуры	ЦНИТА-3613М	ЛИЗ	Прибор для контроля величины биения уплотняющего конуса иглы распылителя. Диаметр иглы 6 мм; погрешность ±0,001 мм; габаритные размеры 370×210×570 мм

оказывается бракованой, то на табло загорается соответствующая лампочка: красная — «брак +», белая — «брак —». По окончании измерения ручка механизма арретирования переводится в исходное положение. При этом электрическое напряжение от преобразователя отключается, измерительные рычаги и преобразователи арретируются, скобы с измерительными наконечниками переводятся в исходное положение.

Значительное распространение нашли автоматизированные приборы для контроля отклонений от геометрической формы. В процессе измерения контролируемые детали должны перемещаться. При этом базовые поверхности и элементы, осуществляющие перемещение (вращатели, направляющие, каретки и т. д.), должны иметь конструкцию, не вносящую дополнительные погрешности при перемещении контролируемых изделий.

На рис. 11.15 приведена схема прибора для контроля перпендикулярности отверстий к торцу кольца шарикоподшипников. Кольцо устанавливают на твердосплавный столик 1 и прижимают к базовым роликам 7. Затем на кольцо опускают мостик с коническим конусным фрикционным роликом 4. Направление конуса и вращения ролика, получающего движение от двигателя, обеспечивает прижим кольца к базовым роликам 7 и упору 2. Прижим другого конца кольца обеспечивается пружиной 3. При вращении кольца отклонение размера через измерительный рычаг 6 передается измерительной головке или преобразователю 5.

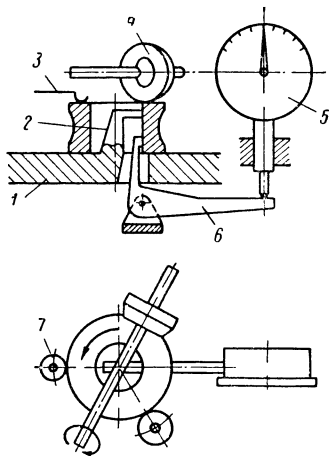


Рис. 11.15

На рис. 11.16 показан общий вид, а на рис. 11.17 — схема прибора для контроля биения соплового отверстия корпусов распылителей. Деталь 9 устанавливают на пустотелой оправке 7 и вращают с помощью резинового пассика 8 от приводного двигателя. Плоскость расположения пассика перпендикулярна оси детали, поэтому при вращении возникает сила, стремящаяся переместить деталь вдоль оси. Направление вращения выбрано таким образом, чтобы деталь прижималась конусом к твердосплавной вставке 13 рычага 6. С поверхностью конуса в точке, диаметрально противоположной вставке 13, контактирует равноплечий измерительный рычаг 5, подвешенный на крестообразном шарнире 4. На противоположный конец рычага опирается наконечник пружинно-оптической головки 3. Измерительное давление головки 3 уравнивается пружиной 2 и регулируется винтом 1. Вся измерительная система — оправка 7 и измерительный рычаг 5 закреплены на вспомогательном рычаге 11, который в свою очередь подвешен на крестовом шарнире 12 и с помощью микровинта 10 может уравниваться относительно пружинно-оптической головки.

Получают развитие приборы с цифровой индикацией, где используются индуктивные преобразователи, приборы для обработки

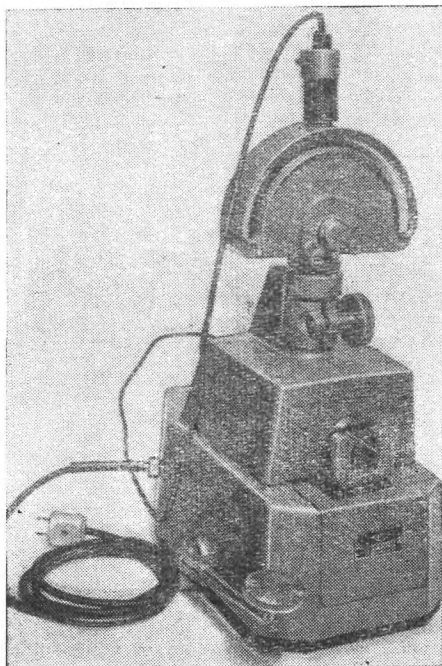


Рис. 11.16

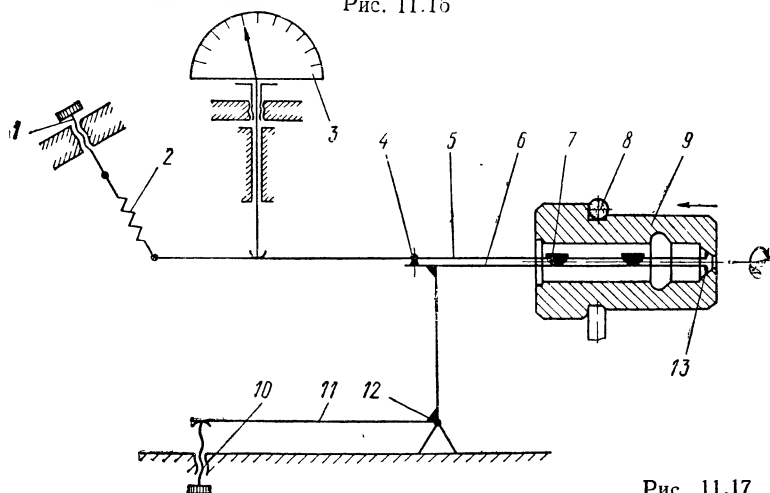


Рис. 11.17

статистических данных измерения, приборы для регистрации отдельных результатов измерений и самопишущие приборы, у которых результат измерения выдается в виде графика или таблицы.

На рис. 11.18 приведена схема прибора для регистрации отдельных результатов измерений. При каждом измерении стрелка 4 измеритель-

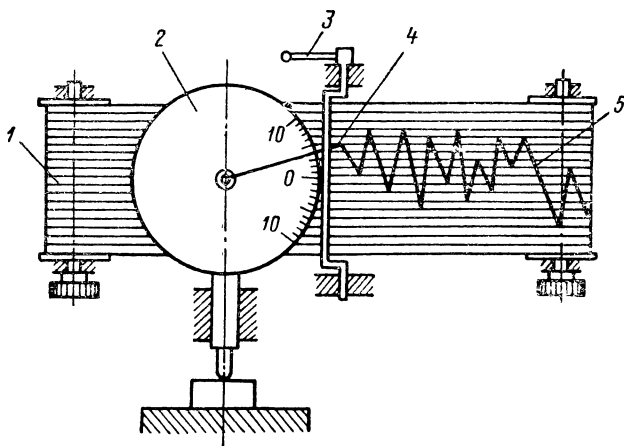


Рис. 11.18

ного преобразователя 2 занимает определенное положение. Затем приводится в действие маркирующий рычаг 3 и конец стрелки вдавливается в диафрагменную ленту 1, перемещающуюся при каждом измерении на один шаг. В результате на ленте наносится диаграмма 5, по которой могут быть определены параметры рассеивания результатов измерения.

Характеристики отдельных приборов и приспособлений, выпускаемых промышленностью, приведены в табл. 11.8.

5. КОНТРОЛЬНО-СОРТИРОВОЧНЫЕ АВТОМАТЫ

Контрольно-сортировочные автоматы наиболее целесообразно применять в отраслях с массовым и крупносерийным производством. Современная конструкция автомата должна обеспечивать высокую производительность, оптимальную точность, предотвращение повреждений и заклинивания деталей при их перемещении, удобство размещения измерительной станции, бункера и сортировочных отсеков, легкость доступа к регулировкам, высокую стойкость измерительных поверхностей, быстрое устранение повреждений и заклиниваний, простоту обслуживания.

На станине автомата устанавливаются основные узлы: загрузочное устройство, транспортирующее устройство, измерительные станции, сортировочное и запоминающее устройства, пульт управления. Станина автомата выполняется литой или сварной. Во многих случаях применяются деревянные станины или станины, скombинированные из дерева и стали. В качестве материала деталей, соприкасающихся

Характеристика автоматов для

Тип детали или контролируемый физический параметр	Изготовитель	Тип или модель автомата	Назначение	Диапазон сортируемых изделий в мм
Шар	ЛИЗ	45АК	Сортировка по диаметру	10—20
		46АК		20—32
	Завод «Калибр»	402		1—3
		403		3—8
	Фирма «Cenzog» (княжество Лихтенштейн)	KS_V3/KS_V7		3—9,5
		CKR		21—35
Ролик цилиндрический, конический, бочкообразный, штифт, ось	ЛИЗ	38АК	Сортировка игольчатых роликов по длине и диаметру	Диаметр 3—6, длина 30—60
		50АК		Диаметр 2—3, длина 10—30
		47АК	Сортировка роликов по длине и диаметру	Диаметр 5—16, высота 5—16
	1-й Государственный подшипниковый завод	СК-28	Сортировка цилиндрических роликов	Диаметр 5—20
	4-й Государственный подшипниковый завод	T/K240	Сортировка цилиндрических роликов по длине и диаметру	Диаметр 16—26, длина 16—26
		АСИ-1	Сортировка игольчатых роликов	Диаметр 2—4, длина 10—40
	Завод «Калибр»	411 (АСР-4)	Сортировка конических роликов по диаметру и углу конуса	Диаметр 4—10, длина 7—16
		410 (АСР-3)		Диаметр 10—20, длина 15—42

ТАБЛИЦА 11.9

контроля и сортировки деталей

Число групп сортировки	Погрешность измерения в мкм	Производительность в шт./ч	Габариты в мм	Масса в кг
12	$\pm 0,25$	10 000	1218×880×1467	500
		5000		
7	$\pm 0,2$	7000	1000×650×1265	220
		18 000		300
8	0,1	18 000	120×120×142	300
9		900—7200	960×680×920	180
14	По диаметру $\pm 0,5$, по длине ± 3	5000	1190×910×1640	750
	По диаметру $\pm 0,5$, по длине ± 6	15 000	680×980×1950	700
24	По диаметру $\pm 0,25$, по длине ± 1	5000	1330×800×1880	500
24	$\pm 0,5$	2400	—	—
—	По диаметру $\pm 0,5$	2500	—	—
—		7000—8000	—	—
10—по диаметру, 2—по углу конуса	$\pm 1,5$	4600	—	—
10—по диаметру, 3—по углу конуса	$\pm 2,0$	3600	—	—

Тип детали или контролируемый физический параметр	Изготовитель	Тип или модель автомата	Назначение	Диапазон сортируемых изделий в мм
Ролик цилиндрический, конический, бочкообразный, штифт, ось	Фирма «Токио Сеймицу» (Япония)	—	Сортировка игольчатых роликов	Диаметр 5—20, длина 1,6—5
	Предприятие «Сомет» (ЧССР)	Roto	Сортировка шаров, роликов и колец подшипников	Диаметр шаров 3—18, диаметр роликов 6—18, длина роликов 6—18, диаметр колец 6—21
	Народное предприятие FMS (ГДР)	4331	Сортировка цилиндрических и игольчатых роликов	Диаметр 2—8, длина 5—40
		4400	Сортировка цилиндрических деталей	Диаметр 5—22
Пластины, таблетки, шайбы	ЛИЗ	K776M	Сортировка конденсаторной слюды по толщине	Ширина X длина 7×14; 14×14; 16×25; 25×25; 20×30; 30×40; 40×50
	Бюро взаимозаменяемости (БВ)	БВ-8027	Сортировка германиевых пластин	Габариты от 1×1 до 3,2×3,2
		БВ-8058	Сортировка таблеток по наружному диаметру	Диаметр 5—15, длина 10—30
Подшипники в сборе	ЛИЗ	39АК	Контроль радиального и бокового биений приборных шарикоподшипников	Диаметр наружных колец 19—42, диаметр внутренних колец 6—15, высота 5—13

Продолжение табл. 11.9

Число групп сортировки	Погрешность измерения в мкм	Производи- тельность в шт./ч	Габариты в мм	Масса в кг
9	1	6000	1290×600×1300	500
14	0,2—0,5	10 000	автомата — 1000× ×1000×1600, электрошкафа — 450×550×1570	550
8	—	5000—6000	900×700×1250	150
22	—	1650—2100	1100×850×1300	180
7	±0,002	4300; 6000	750×735×1340	335
13	—	2000	870×650×1750	320
7	±3	2000	790×460×1130	—
3	15% от величины допуска на боковые беня	600	1100×1025×1720	800

Тип детали или контролируемый физический параметр	Изготовитель	Тип или модель автомата	Назначение	Диапазон сортируемых изделий в мм
Подшипники в сборе	ЛИЗ	41АК2	Контроль радиального зазора приборных шарикоподшипников	Диаметр наружный 16—30
		40АК1М	Контроль посадочных диаметров подшипников	Диаметр наружный 7—18, диаметр внутренний 3—8, высота 2,5—5
Кольцо, цилиндрическая втулка, палец	ЛИЗ	25АКМ	Сортировка колец подшипников по диаметру дорожки качения	Наружный диаметр 40—72, высота 12—19
		26АКМ		Наружный диаметр 23—50, высота 12—19
		БВ-8008	Сортировка поршневых пальцев по диаметру и контроль по овальности, огранке, конусности и бочкообразности	Диаметр 15—60, длина 55—120
	КРИН	БВ-8064	Сортировка поршней к медицинским шприцам типа «Рекорд» по диаметру	Диаметр 6—20, длина 18
Зубки для буровых долот	ЛИЗ	БВ-8038	Сортировка твердосплавных зубков по диаметру и высоте	Диаметр 3—15, высота 3—25
		БВ-8039	Сортировка шлифованных твердосплавных зубков по диаметру	Диаметр 4—14
Зубчатое колесо	Завод «Калибр»	БВ-8010	Контроль цилиндрических зубчатых колес	80—320

Продолжение табл. 11.9

Число групп сортировки	Погрешность изме- рения в мкм	Производи- тельность в шт./ч	Габариты в мм	Масса в кг
3	± 2	1000	800×400×750	120
3	$\pm 0,5$ $\pm 0,8$	720	520×1050×1275	298
18	$\pm 1,5$	1200	1465×1125×1860	600
5	По диаметру ± 1 , отклонений от правильной геоме- трической формы $\pm 0,75$	450	2250×1100×2060	900
7	$\pm 0,75$	600	1475×970×1840	620
8	± 15	1540—1970	570×1116×1500	430
12	± 3	1540; 2240	1366×802×1570	520
—	10	100	—	—

с контролируемым изделием, в этих станинах применяются твердые породы дерева — бук или дуб. Внутри станины размещаются: привод автомата, сортировочные отсеки и электрооборудование. Иногда электрооборудование размещается в специальном электрошкафу, который конструктивно выполняется отдельно от станины автомата. Измерительная станция автоматов в некоторых случаях устанавливается на виброизолирующую прокладку и защищается от проникновения пыли специальным кожухом. Кожух выполняется из органического стекла и должен иметь дверцы для доступа к перенастраиваемым узлам и настройкам элементов. Для отвода тепла от измерительного преобразователя в кожухе выполняются жалюзи. Воронка загрузочного бункера, сортировочные отсеки и пульт управления должны находиться вне кожуха.

Конструкция автомата должна обеспечивать удобный подход к загрузочному бункеру, сортировочным отсекам и пульта управления. Для этого высота автомата не должна превышать 1,5—1,9 м, а нижние сортировочные отсеки должны быть расположены на высоте 0,5 м от основания станины. На пульте управления размещаются кнопки и тумблера для управления автоматом, а также светосигнальные лампочки, необходимые для настройки измерительных преобразователей, сигнализации о принадлежности детали к определенной сортировочной группе и определения режима работы автомата. Во многих автоматах на самой верхней его точке устанавливается светофорная лампа, хорошо обозреваемая из любого места помещения, где эксплуатируется автомат. Лампа горит в полнакала, а при аварийной остановке автомата загорается полным светом.

Краткая техническая характеристика автоматов, выпускаемых промышленностью, приведена в табл. 11.9. В качестве примера ниже описывается работа автомата типа 45АК (рис. 11.19) для сортировки шаров по диаметру. Кинематическая схема автомата приведена на рис. 11.20.

Засыпанные в бункер 12 шары при ходе вниз шибера, получающего движение от двигателя 14 через сдвоенный редуктор 13, направляются в накопитель 11. При совмещении выходного отверстия накопителя с окном непрерывно вращающегося транспортирующего диска 9 очередной шар западает в диск. Сортировочные заслонки 10, закрепленные на диске, в момент западания и измерения шара отведены неподвижным круговым кулаком, что позволяет шару свободно располагаться в диске, опираясь на дорожку, находящуюся под диском. После измерения заслонка под действием пружины закрывается и шар, перемещающийся транспортирующим диском, опирается на нижний выступ заслонки 10.

Попавший в диск шар измеряется на ходу измерительным твердосплавным ножом, вытянутым вдоль движения шара [15]. Результат измерения через пружинный параллелограмм 7 и коромысло 6, подвешенное на пластинчатом кресте, передается фотоэлектрическому преобразователю 5, где формируется информация о принадлежности размера шара к определенной сортировочной группе. Информация о номере группы через пороговую электронную схему поступает на записывающую головку 15. В зависимости от номера группы головка записывает сигнал на определенную дорожку магнитного барабана 16, вращающегося синхронно с транспортирующим диском 9 и получающего движение от двигателя 20 через червячный редуктор 19. При

прохождении намагниченного участка дорожки мимо считывающей головки 17 в последней индуцируется напряжение, которое через усилитель подается на соответствующий электромагнит 8. Электромагнит выдвигает упор, на который наталкивается сортировочная заслонка. При этом заслонка открывается и деталь, отнесенная по результатам

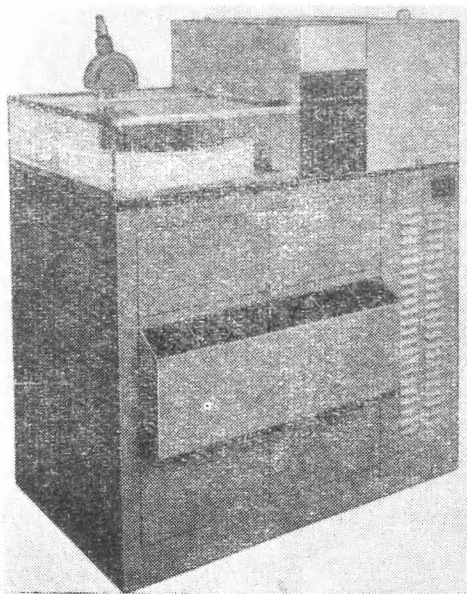


Рис. 11.19

измерения к данной группе, проваливается в соответствующий сортировочный отсек 4. Перед позицией записи информации записанная ранее информация стирается головкой 18.

Привод распределительного вала автомата осуществляется от электродвигателя 21 через редуктор 22 и клиноременную передачу 23. На распределительном валу автомата закреплены кулачки командоаппарата 1. Движение транспортирующему диску от распределительного вала передается через муфту 2, шестеренчатую передачу и червячный редуктор 3.

6. СРЕДСТВА АКТИВНОГО КОНТРОЛЯ

Средства активного контроля в зависимости от результатов контроля деталей осуществляют управление технологическим процессом. Активный контроль производится до обработки детали на технологическом оборудовании (защитно-блокировочные устройства), в процессе обработки и после обработки (подналадчики) при шлифовании,

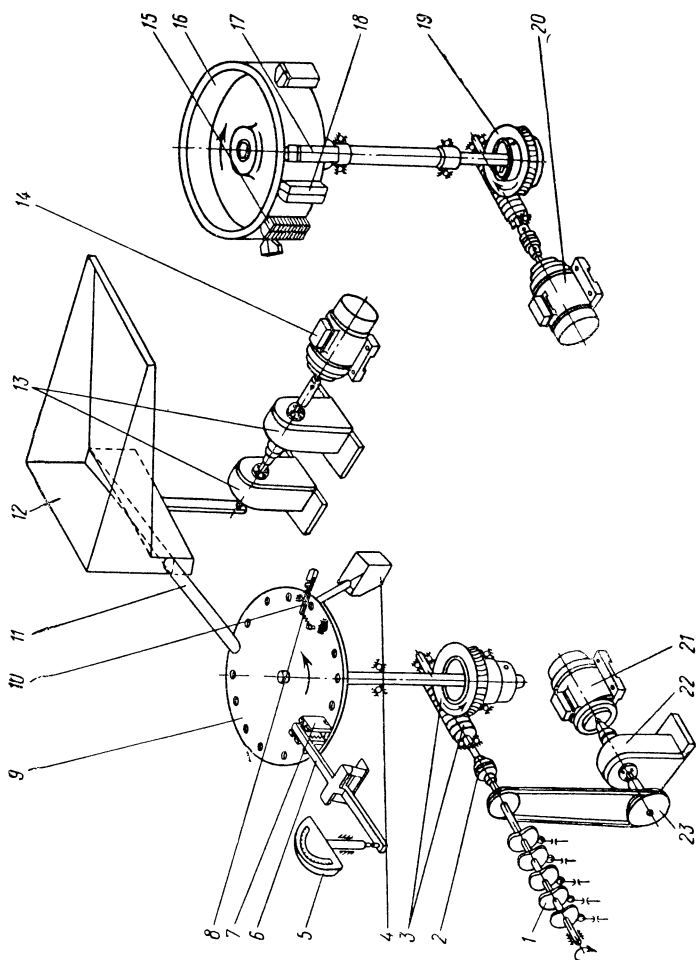


Рис. 11.20

хонинговании, токарных, фрезерных, доводочных и других технологических операциях.

При активном контроле можно непосредственно измерять обрабатываемую деталь (прямой метод) либо контролировать положение режущей кромки инструмента (косвенный метод). Измерение может производиться как контактным, так и бесконтактным методом с помощью измерительных преобразователей.

При активном контроле возникают дополнительные погрешности, вызванные вибрациями станка, попаданием абразива или охлаждающей жидкости под измерительные поверхности, нагревом детали при обработке и т. д. Для уменьшения влияния вибраций увеличивают измерительное усилие и применяют демпфирующие подвески. Измерительный преобразователь целесообразно выносить из зоны обработки и защищать от попадания охлаждающей жидкости. Для уменьшения износа измерительных поверхностей применяют твердосплавные или алмазные наконечники, а также виброконтактные измерительные преобразователи и бесконтактные методы измерения. С целью уменьшения влияния прогиба изделия при его обработке ось измерительного наконечника необходимо располагать перпендикулярно направлению усилия резания, при этом целесообразно контактировать изделие в двух или трех точках.

Применяя средства активного контроля, необходимо помнить, что на точность обработки существенное влияние оказывает чувствительность исполнительных органов технологического оборудования. Средства активного контроля можно применять только в том случае, если исполнительные органы могут воспринимать и осуществлять с заданной точностью принятые команды.

На круглошлифовальных станках широкое распространение получили устройства для контроля наружного диаметра обрабатываемой детали, построенные на одно-, двух- и трехконтактной схемах. Устройство должно отвечать требованиям ГОСТ 8517—70.

По одноконтактной схеме построено устройство (рис. 11.21), применяемое на желобошлифовальных станках. Устройство, представляющее электроконтактный преобразователь, закреплено на стойке 1, установленной на бабке шлифовального станка. В начале обработки устройство устанавливается в верхнее положение и рычаг 5 под действием пружины 4 замыкает контакт 3. По мере обработки измерительный шток 7 под действием пружины 6 опускается, увлекая за собой рычаг 5. В момент разрыва контакта 3 подается команда на переключение подачи станка, в момент замыкания контакта 2 — команда на прекращение обработки. Одноконтактная схема проста по конструкции, однако при этой схеме на погрешность существенное влияние оказывают силовые и температурные деформации, а также смещение обрабатываемой детали.

Двухконтактные схемы получили наибольшее распространение. На рис. 11.22 приведена двухконтактная схема прибора для сопряженного шлифования валов. К измерительной ветви пневмоэлектроконтактного преобразователя 4 подведено сопло 1, измеряющее образцовое кольцо 2, и сопло 5, измеряющее размер обрабатываемой детали 7. Установка нуля преобразователя производится винтом противодавления 3. По мере обработки детали сближаются губки 6 измерительной скобы, уменьшая зазор между соплом 5 и верхней губкой, что вызывает изменение давления в измерительной сети преобразователя. При

достижении размером вала 7 значения, соответствующего необходимому зазору в сопряжении вал 7 — кольцо 2, выдается команда на остановку станка. При двухконтактной схеме перемещение детали во время

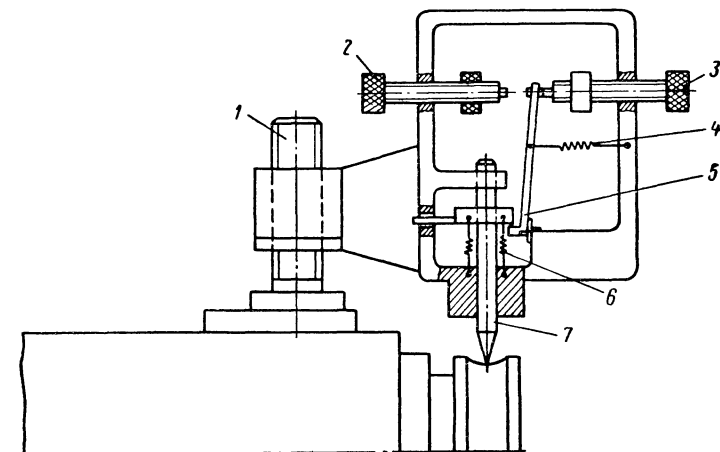


Рис. 11.21

обработки в малой степени влияет на результаты контроля. Прямо линейная траектория ввода и вывода измерительных наконечников позволяет наиболее просто автоматизировать эту операцию.

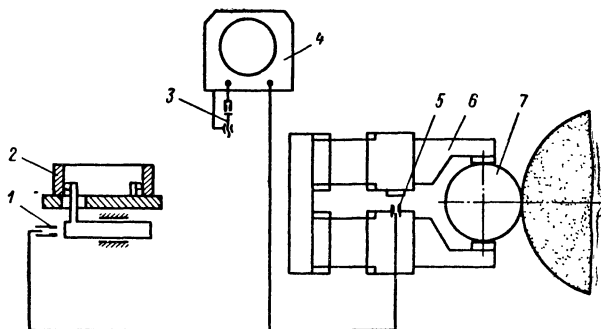


Рис. 11.22

В устройствах, работающих по трехконтактной схеме (рис. 11.23), скоба 5 имеет два базисных и один измерительный 2 наконечника. Скобу шарнирно подвешивают на пружинном кронштейне 8 к кожуху шлифовального круга так, чтобы она могла свободно откидываться.

Опорные поверхности 1 базирующих наконечников прижимаются к обрабатываемой поверхности с усилием до 500 сН с помощью пружин поворотного кронштейна 8. Измерительное усилие наконечника 2 создается пружиной 4. Подвижный наконечник подвешен на пружинном параллелограмме 3. Перемещение наконечника через рычаг 6 передается отсчетному устройству или измерительному преобразователю 7. К преимуществам трехконтактной схемы относится независимость показа-

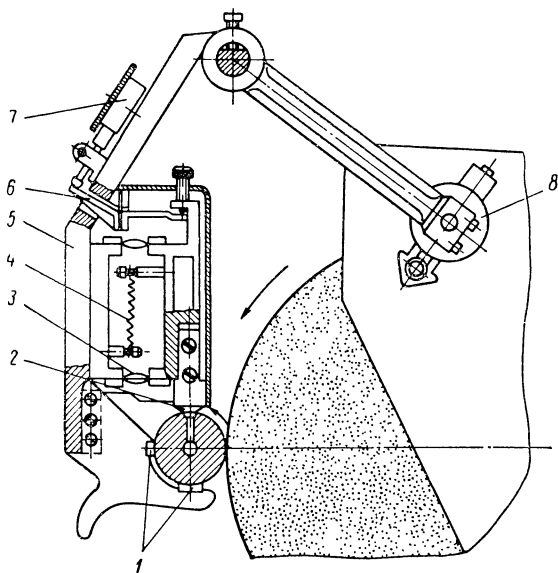


Рис. 11.23

ний от смещения обрабатываемой детали. К недостаткам схемы следует отнести затруднительность автоматизации ввода и вывода скобы.

Характеристика средств активного контроля для круглошлифовальных станков приведена в табл. 11.10.

На внутришлифовальных станках наибольшее распространение получили устройства с жесткими калибрами и двухконтактными скобами.

При контроле жесткими калибрами (рис. 11.24) шлифовальный круг 6 и калибры 4 и 5 совершают возвратно-поступательное движение. При ходе круга вперед упор 7 нажимает на шток 8 и отводит каретку 3 с закрепленными на ней калибрами. При обратном ходе калибры под действием пружины 9 совместно с кареткой 3 стремятся войти в обрабатываемое отверстие, диаметр которого в процессе шлифования увеличивается. Если калибр 5 войдет наполовину в обрабатываемое отверстие, замыкается контакт 2 и подается команда на правку шлифовального круга и переход на чистовое шлифование. При входе в обрабатываемое

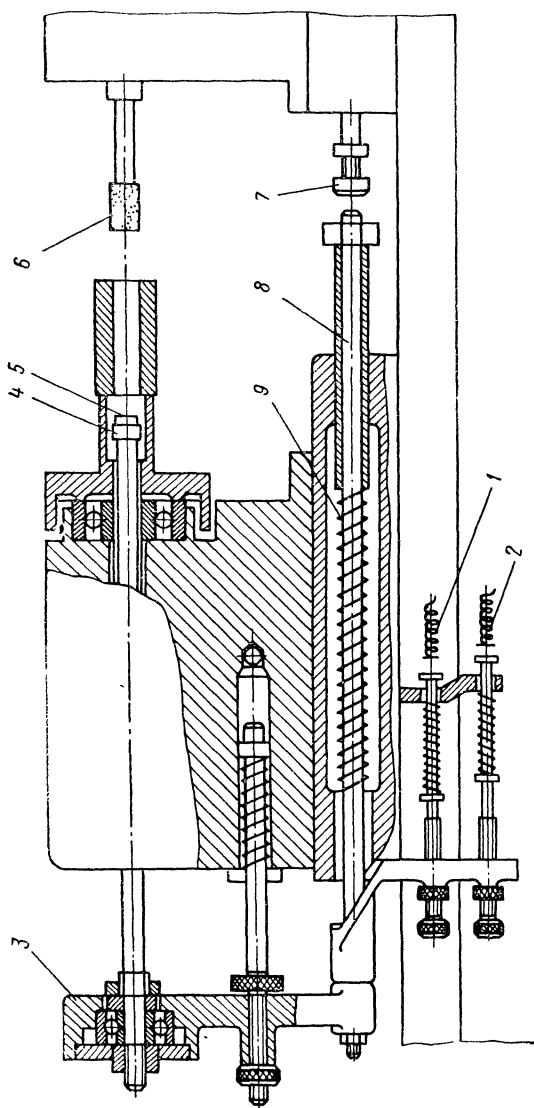


Рис. 11.24

ТАБЛИЦА 11.10

Характеристика приборов активного контроля для круглошлифовальных станков

Наименование	Модель	Завод-изготовитель	Основные параметры и размеры в мм			
			Отсчетное устройство		Предел измерения	
			цена деления	диапазон показаний	верхний	нижний
Приборы с настольными скобами для активного контроля валов с гладкими и прерывистыми поверхностями						
Приборы пневматические для контроля валов	БВ-6060-УНС-40	ЧЗМИ	0,001	0,12	40	2,5
	БВ-6060-УНС-200		0,001	0,12	200	125
	БВ-4100-УНС-40		0,001 и 0,01	0,08 и 0,4	40	2,5
	Приборы индуктивные для контроля валов	БВ-4100-УНС-200	0,001 и 0,01	0,08 и 0,4	200	125
Прибор пневматический компенсационный	ЛАК-01	Московский инструментальный институт	0,002	0,16	280	165
Прибор индуктивный универсальный	ЛАК-03	То же	0,002	0,16	280	165
Прибор трехконтактный индуктивный	—	Фирма «Magross» (Италия)	0,001	0,06	76	6
	АК-3	Завод им. Лихачева	0,02	0,5	198	—
Приборы с навесными скобами для активного контроля валов с гладкой поверхностью						
Приборы пневматические для контроля валов	БВ-6060-УНВ-40	ЧЗМИ	0,001	0,12	40	4
	БВ-6060-УНВ-200		0,001	0,12	200	80
	БВ-4100-УНВ-40		0,001 и 0,01	0,08 и 0,4	40	4
	Приборы индуктивные для контроля валов	АК-3А	0,01	0,5	120	10
	БВ-4100-УНВ-200	0,001 и 0,01	0,08 и 0,4	200	80	

*

Продолжение табл. 11 10

Наименование	Модель	Завод-изготовитель	Основные параметры и размеры в мм			
			Отсчетное устройство		Предел измерения	
			цена деления	диапазон показаний	верхний	нижний
Приборы механические для контроля валов	БВ-3156-40	ЧЗМИ	0,005	0,5	40	4
Приборы широкодиапазонные для контроля к круглошлифовальным станкам	БВ-3156-200	»	0,005	0,5	200	80
	ХШ-9	»	0,002 и 0,01	0,005 и 0,040	85	15
Приборы пневматические для контроля валов с возможностью шлифования по сопрягаемой детали с контактным измерительным устройством для отверстий	БВ-4009У-40	»	0,0005	0,06	40	4
Приборы со специальными измерительными устройствами						
Приборы активного контроля быстропереключаемые с возможностью контроля по всей длине детали при продольном шлифовании	БВ-4105	ЧЗМИ	0,002	0,24	70	10
Приборы пневматические для валов с прерывистыми поверхностями малой протяженности	БВ-4091	» (по заказам)	0,001	0,12	70	6

отверстие калибра 4 замыкается контакт 1 и подается команда на остановку станка.

При обработке на жестких опорах подавляющее большинство современных приборов строится на двухконтактном методе измерения, обеспечивающем большую точность.

На рис. 11.25 представлена двухконтактная скоба для контроля при внутреннем шлифовании деталей. Измерительные наконечники 9 крепятся на губках 4 и 5, которые для грубой регулировки могут пере-

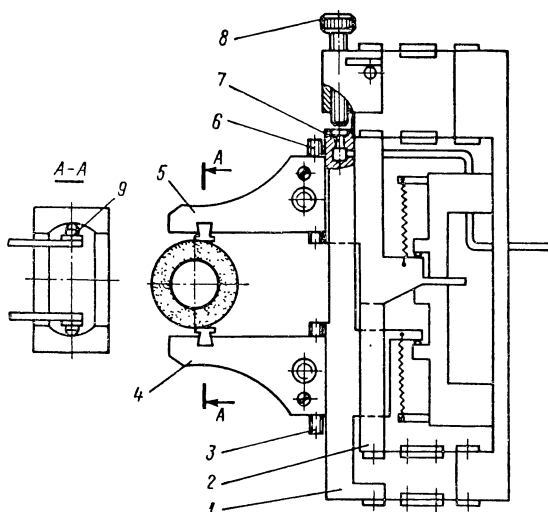


Рис. 11.25

мещаться по зубчатым рейкам 3 и 6 относительно подвижных кареток 1 и 2, подвешенных на пластинчатых пружинах. На одной каретке закреплено сопло 7, с другой связан винт 8, с помощью которого можно осуществлять тонкую настройку. В процессе обработки детали изменяется расстояние между соплом 7 и нижней плоскостью винта 8, в результате чего изменяется давление в сети пневмоэлектроконтактного преобразователя.

Характеристика средств активного контроля для внутришлифовальных станков приведена в табл. 11.11.

При плоском шлифовании измерительный наконечник периодически находится в промежутке между обрабатываемыми поверхностями. Поэтому приборы активного контроля для плоскошлифовальных станков имеют, как правило, специальные устройства, позволяющие исключить ложные команды при проходе под измерительным наконечником промежутка между обрабатываемыми поверхностями. Приборы активного контроля для плоского шлифования должны отвечать требованиям ГОСТ 9376—60.

ТАБЛИЦА 11.11

Характеристика приборов активного контроля для внутришлифовальных станков

Наименование	Модель	Завод-изготовитель	Основные параметры и размеры в мм			
			Отсчетное устройство		Предел измерения	
			цена деления	диапазон измерения	верхний	нижний
Приборы визуальные механические для активного контроля отверстий	БВ-3130-1	ЧЗМИ	0,005	0,5	50	12
	БВ-3130-4		0,005	0,5	400	100
Прибор пневматический бесконтактный	БВ-4052	»	0,001—0,0015	—	25	5
Приборы пневматические	БВ-4026	» Особое конструкторское бюро по проектированию средств автоматического контроля и электроэрозийного оборудования (Москва)	0,001	—	100	25
	ОКБ-6К78М		0,001	—	80	20
	ОКБ-1515М		0,001	—	170	125
	ОКБ-2335		0,001	—	235	205

ТАБЛИЦА 11.12

Характеристика приборов активного контроля для плоскошлифовальных станков

Наименование	Модель	Завод-изготовитель	Основные параметры и размеры в мм		
			Наибольший припуск	Цена деления отсчетного устройства	Предел измерения по шкале
<p>Приборы пневматические для активного контроля при многопроходном шлифовании для полуавтоматических станков</p> <p>Приборы для активного контроля при многопроходном шлифовании для полуавтоматических станков новых гамм</p> <p>Приборы визуальные для активного контроля при многопроходном шлифовании для неавтоматических станков новых гамм</p> <p>Приборы электроконтактные для активного контроля при плоском шлифовании для автоматических и полуавтоматических односторонних станков</p>	БВ-4066К	ЧЗМИ	1,2	0,002	0,24
	Типа БВ-4111К-1	» (по заказам)	1,2	0,001; 0,002	0,12; 0,24
	Типа БВ-4111К-2	То же	1,2	0,001; 0,002	0,12; 0,24
	БВ-4102	ЧЗМИ	3	—	—

На рис. 11.26 приведена схема бесконтактного прибора для плоского шлифования деталей. Измерительное устройство 1 прибора устанавливается над поверхностью стола 8 станка. Оно прикреплено к каретке 2, подвешенной на пружинном параллелограмме 3 к основанию 4, которое может перемещаться по колонке 5, установленной на станке. Для тонкой настройки служит винт 6. Измерительное устройство имеет систему сопел, позволяющую обеспечивать подачу воздуха к пневматическому преобразователю 7 в момент нахождения измерительного сопла 9

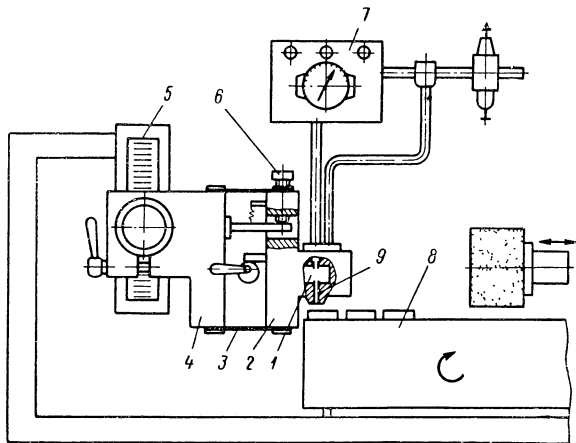


Рис. 11.26

над обрабатываемой поверхностью и перекрывающую доступ воздуха к преобразователю при нахождении измерительного сопла между обрабатываемыми поверхностями.

Характеристика средств активного контроля для плоскошлифовальных станков приведена в табл. 11.12.

При бесцентровом шлифовании осуществляется контроль деталей после обработки с выдачей команды на подналадку станка и контроль деталей непосредственно в процессе обработки с выдачей команды на прекращение процесса обработки при достижении заданного размера. Первый способ контроля используется в основном при обработке деталей на проход, второй — при обработке деталей врезанием.

Принципиальная схема подналадочной системы приведена на рис. 11.27. После выхода из зоны обработки отшлифованная деталь 1 поступает на измерительную позицию подналадчика 2. По мере износа шлифовального круга размеры деталей увеличиваются. При достижении размером детали границы подналадки измерительный преобразователь 3 подналадчика выдает команду на электромагнит, управляющий храповым механизмом 4. Храповое колесо и связанный с ним ходовой винт поворачиваются, перемещая шлифовальную бабку на величину, соответствующую интервалу подналадки.

ТАБЛИЦА 11.13
Характеристика средств активного контроля для бесцентровшлифовальных станков

Наименование	Модель ¹	Диаметр конт- лируемых де- талей в мм	Длина контро- лируемых дета- лей в мм	Поперечность контроля в мм	Измерительное усилие в Н(гс)	Цикл работы в с	Габариты в мм	Масса в кг
Контрольно-подналадочный автомат для прутков	ОКБ-7171Б	2—10	1500—2500	±0,002	500	6	3500×860×1700	525
Контрольно-подналадочный автомат	ОКБ-2020	10—20	2000—4000	—	—	6,7; 9,4	5200×860×1760	1600
Контроль прутков в двух се- чениях	ОКБ-1403М	10—50	До 6000	±0,002	600	13,3; 18,7	7200×860×1760	2500
Контроль диаметра после об- работки на станке модели 6С133	ОКБ-Л26ПН	65	175	±0,01	600	30	600×140×800	115
Контроль в процессе обработ- ки колец на станке модели 6С136	ОКБ-К132М	45—90	Не ниже 5	±0,003	600	0,2—8	120×130×250	3,8
Контроль диаметров на станке модели 6С136	ОКБ-1428М	35—70	—	±0,002	500	—	340×290×445	11

¹ Разработчик — Особое конструкторское бюро по проектированию средств автоматического контроля и элек-
троэрозийного оборудования (Москва).

Для исключения выдачи ложной или преждевременной команды из-за грубых ошибок и отказов в некоторых случаях команда на подналадку выдается не по первой детали, размер которой достиг уровня

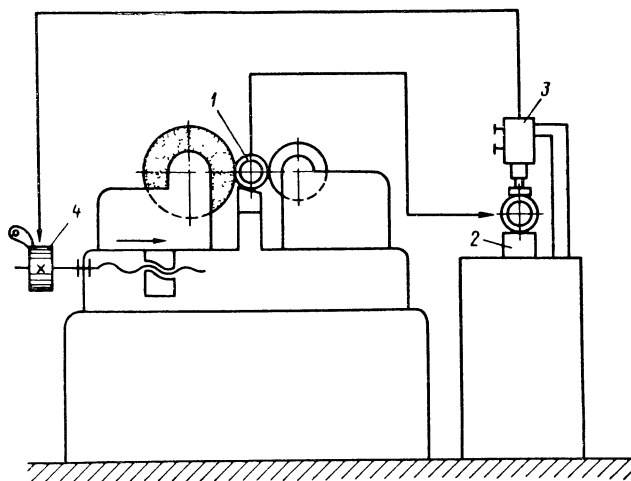


Рис. 11.27

настройки, а по среднеарифметическому значению из выборки размеров деталей по алгебраической сумме командных импульсов либо по заданному значению из подряд идущих импульсов [6, 1].

Характеристика средств активного контроля для бесцентрово-шлифовальных станков приведена в табл. 11.13.

Список литературы

1. **Активный контроль в машиностроении.** Справочное пособие. Под ред. Е. И. Педь. М., «Машиностроение», 1971, 355 с.
2. **Агейкин Д. И., Костина Е. И., Кузнецова Н. Н.** Датчики контроля и регулирования. Справочные материалы. М., «Машиностроение», 1965, 929 с.
3. **Абрамзон Э. Л., Хаскин И. Н.** Запоминающее устройство контрольно-сортировочных автоматов. М., НИИмаш, 1968, 47 с.
4. **Волосов С. С., Педь Е. И.** Приборы для автоматического контроля в машиностроении. М., «Машиностроение», 1970, 308 с.
5. **Воронцов Л. Н.** Фотоэлектрические системы контроля линейных величин. М., «Машиностроение», 1965, 236 с.
6. **Воронцов Л. Н.** Расчет и проектирование автоматических устройств для контроля линейных величин. М., Машгиз, 1961, 329 с.
7. **Высоцкий А. В., Курочкин А. П., Линд А. Б. и др.** Пневматические измерения линейных размеров. М., Машгиз, 1963, 265 с.
8. **Гипп Б. А.** Контрольные приспособления. М.; Машгиз, 1960, 324 с.

9. Коченов М. И., Абрамзон Э. Л., Глинкин А. С. и др. Контрольно-измерительные автоматы и приборы для автоматических линий. М., «Машиностроение», 1965, 372 с.

10. Котенко Г. И., Погодин В. И. Магниторезистивные датчики. — «Приборы и системы управления», 1968, № 8, с. 27—29.

11. Левенсон Е. М. Контрольно-измерительные приспособления в машиностроении. М., Машгиз, 1960, 290 с.

12. Марков Н. Н., Машинистов В. М., Этингф Н. И. Электроконтактные датчики для линейных измерений. М., «Машиностроение», 1969, 240 с.

13. Рабинович А. Н. Приборы и системы автоматического контроля размеров деталей машин. Киев, изд-во «Техника», 1970, 394 с.

14. Сорочкин Б. М. Унификация контрольно-сортировочных автоматов. — «Стандарты и качество», 1969, № 6, с. 11—12.

15. Сорочкин Б. М. Контроль размеров деталей при их движении относительно измерительных поверхностей. — «Измерительная техника», 1970, № 9, с. 39—40.

16. Тищенко О. Ф., Калитенко В. Г. Методы поверки и наладки автоматических средств контроля размеров. М., «Машиностроение», 1967, 242 с.

17. Туричин А. М. Электрические измерения неэлектрических величин. М.—Л., «Энергия», 1966, 639 с.

18. Цейтлин Я. М., Сорочкин Б. М., Ларионов Б. Г. и др. Фотоэлектрические автоматы для контроля размеров. «Машиностроение», 1968, 205 с.

19. Эккеркунст В. Автоматизация линейных измерений. Пер. с нем. М., Изд-во Комитета стандартов и измерительных приборов при Совете Министров СССР, 1969, 237 с.

ГЛАВА ДВЕНАДЦАТАЯ

ИЗМЕРЕНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ

1. СТАНДАРТИЗАЦИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ

В СССР на шероховатость поверхности вводится стандарт 2789—73 (срок введения намечен с 1/1 1975 г. взамен ГОСТ 2789—59), соответствующий рекомендациям по стандартизации СЭВ РС6—71 и ИСО Р466¹. ГОСТ 2789—73 основан на методе базирования при измерении шероховатости поверхности по системе М — системе средней линии профиля.

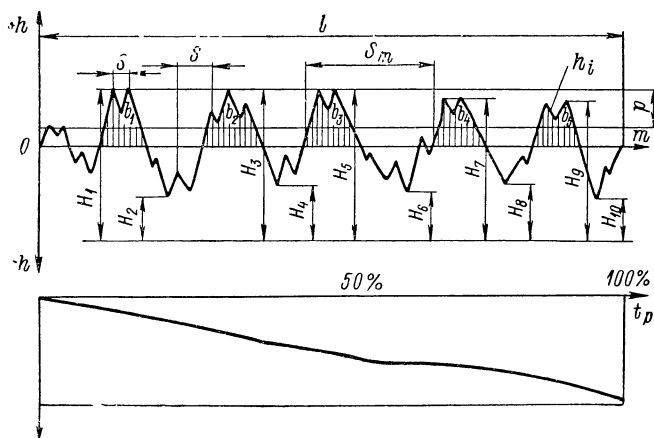


Рис. 12.1

Стандарт 2789—73 устанавливает номенклатуру параметров и типы направлений неровностей поверхности, которые должны применяться для нормирования и оценки шероховатости поверхности, а также числовые значения параметров и общие указания по нормированию.

Определения понятий, применяемых в ГОСТ 2789—73, приведены на рис. 12.1.

Шероховатость поверхности — совокупность неровностей профилей поверхностей с относительно малыми шагами, рассматриваемых в пределах участка, длина которого равна базовой длине.

¹ В рекомендации ИСО/Р468 «Шероховатость поверхности» приняты две системы отсчета высот неровностей: система М — отсчет высот неровностей от средней линии и система Е — отсчет высот неровностей от огибающей линии неровностей поверхности.

Базовая линия — линия, от которой производится отсчет ординат профиля. Базовая длина l — длина базовой линии, в пределах которой производится оценка параметров шероховатости.

Средняя линия профиля — базовая линия, которая имеет форму номинального профиля и делит измеряемый профиль так, что в пределах базовой длины сумма квадратов расстояний точек измеряемого профиля до этой линии минимальна.

Линия выступов — линия, эквидистантная средней линии, проходящая через наивысшую точку выступа измеряемого профиля в пределах базовой длины.

Среднее арифметическое отклонение профиля R_a — среднее арифметическое из абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины ¹

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |h| dx$$

или приближенно

$$R_a = \frac{\sum_{i=1}^n |h_i|}{n},$$

где l — базовая длина; h_i — отклонение профиля от средней линии (в сторону плюс и в сторону минус).

Высота неровностей профиля по десяти точкам R_z — среднее расстояние между пятью высшими и пятью низшими точками измеряемого профиля в пределах базовой длины ²

$$R_z = \frac{(H_1 + H_3 + \dots + H_9) - (H_2 + H_4 + \dots + H_{10})}{5},$$

где H_1, H_3, \dots, H_9 — ординаты высших точек; H_2, H_4, \dots, H_{10} — ординаты низших точек, измеренные от линии, эквидистантной средней линии и не пересекающей профиль.

Шаг неровностей — расстояние между точками пересечения соседних участков измеряемого профиля, имеющих положительную производную, со средней линией профиля.

Средний шаг неровностей \bar{S}_m — среднее значение шага неровностей в пределах базовой длины

$$\bar{S}_m = \frac{\sum_{m=1}^n s_{mi}}{n},$$

где s_{mi} — шаг неровностей; n — число шагов в пределах базовой длины.

¹ Сохраняется по ГОСТ 2789—59.

² Сохраняется по ГОСТ 2789—59

Средний шаг неровностей по вершинам \bar{S} — среднее значение шага неровностей по вершинам в пределах базовой длины

$$\bar{S} = \frac{\sum_{i=1}^n s_i}{n},$$

где s_i — шаг неровностей по вершинам; n — число шагов неровностей по вершинам в пределах базовой длины.

Опорная длина профиля η — сумма длин отрезков, отсекаемых на выступах измеряемого профиля линией, эквидистантной средней линии, в пределах базовой длины

$$\eta = \sum_{i=1}^n b_i,$$

где b_i — длина отрезка, отсекаемого на выступе измеряемого профиля линией, эквидистантной средней линии, в пределах базовой длины; n — число отрезков, отсекаемых на выступах измеряемого профиля линией, эквидистантной средней линии, в пределах базовой длины.

Относительная опорная длина профиля t_p — отношение опорной длины профиля к базовой длине

$$t_p = \frac{\eta}{l} 100\%.$$

где η — опорная длина профиля; l — базовая длина.

Опорная кривая профиля — графическое изображение зависимости значений опорной длины профиля от высоты p ее расположения относительно линии выступов.

Наибольшая высота профиля R_{\max} — расстояние между линией выступов профиля и линией впадин профиля в пределах базовой длины.

Стандарт распространяется на шероховатость поверхности изделий, изготовленных из таких материалов и такими способами, которые обеспечивают значения параметров шероховатости в следующих пределах:

R_a	От 100	до 0,008	мкм
R_z и R_{\max}	» 1600	» 0,025	мкм
S_n и S_m	» 12,5	» 0,002	мм

ГОСТ 2789—73 не распространяется на шероховатость ворсистых поверхностей, например на шероховатость изделий из фетра.

Шероховатость оптических деталей регламентируется по ГОСТ 11141—65, а древесины — по ГОСТ 7016—68.

Введение нового стандарта взамен ГОСТ 2789—59 вызвано тем, что ГОСТ 2789—59 не отвечает современным требованиям, необходимым для дальнейшего улучшения качества выпускаемых изделий. Кроме того, во многих случаях оценка шероховатости только по критериям R_a и R_z не всегда дает возможность достаточно полно характеризовать эксплуатационные свойства поверхности. Стандарт 2789—73 включает ряд дополнительных параметров по сравнению с

ГОСТ 2789—59, как-то: наибольшая высота неровностей профиля R_{\max} , средний шаг неровностей S_m , средний шаг неровностей по вершинам S , относительная опорная длина профиля t_p .

Реальные поверхности, получаемые в результате различных видов механической обработки, имеют большое количество неровностей, образующих шероховатость. Встречаются однородные поверхности, имеющие примерно одинаковые высоты неровностей и одинаковые расстояния между ними. Это, в основном, поверхности классов шероховатости 1—6 по ГОСТ 2789—73, получаемые точением, строганием фрезерованием и другими видами обработки. Шероховатость этих поверхностей можно характеризовать средним значением отдельных высот неровностей на определенной базовой длине, т. е. критерием R_z . Однако поверхности большинства точных изделий получают шлифованием и последующей доводкой. На этих поверхностях (в основном, классов чистоты 6—12) распределение высот неровностей носит случайный характер.

Для оценки шероховатости таких поверхностей необходим критерий, который бы подчинялся статистическим законам распределения. Таким критерием, более полно характеризующим шероховатость, является R_a . По ГОСТ 2789—73 требования к шероховатости поверхности устанавливаются указанием числового значения одного или нескольких параметров и значений базовой длины, на которой происходит определение параметров.

До 1980 г. допускается применять классы чистоты по документации, выпущенной до введения в действие ГОСТ 2789—73 (табл. 12.1). Кроме нормирования значений параметров шероховатости, при необходимости должны устанавливаться требования к направлению неровностей поверхности (табл. 12.2).

Требования к шероховатости поверхности должны устанавливаться без учета дефектов поверхности (царапины, раковины и т. п.). При необходимости требования к дефектам поверхности должны быть установлены



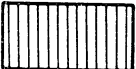

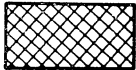

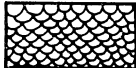





ТАБЛИЦА 12.1

Классы шероховатости поверхности по ГОСТ 2789—73

Классы шероховатости поверхности	Среднее арифметическое отклонение профиля R_a в мкм	Высота неровностей R_z в мкм	Базовая длина в мм	Классы шероховатости поверхности	Среднее арифметическое отклонение профиля R_a в мкм	Высота неровностей R_z в мкм	Базовая длина в мм
1 2 3	80 40 20	320 160 80	8	9 10 11 12	0,32 0,16 0,08 0,04	1,6 0,8 0,4 0,2	0,25
4 5	10 5	40 20	2,5				
6 7 8	2,5 1,25 0,63	10 6,3 3,2	0,8	13 14	0,02 0,01	0,1 0,05	0,08

ТАБЛИЦА 12.2

Типы направлений неровностей поверхности и их обозначение

Типы направлений	Схематическое изображение	Характеристика	Обозначение
Параллельное		Параллельно линии, изображающей на чертеже поверхность, к шероховатости которой устанавливаются требования	
Перпендикулярное		Перпендикулярно линии, изображающей на чертеже поверхность, к шероховатости которой устанавливаются требования	
Перекрещивающееся		Перекрещивание в двух направлениях наклонно к линии, изображающей на чертеже поверхность, к шероховатости которой устанавливаются требования	
Произвольное		Различные направления по отношению к линии, изображающей на чертеже поверхность, к шероховатости которой устанавливаются требования	
Кругообразное		Приблизительно кругообразно по отношению к центру поверхности, к шероховатости которой устанавливаются требования	
Радиальное		Приблизительно радиально по отношению к центру поверхности, к которой устанавливаются требования	

отдельно. Контролю шероховатости подлежат только те поверхности деталей, на которых установлены требования к шероховатости. Числовые значения параметров шероховатости R_a , R_z и R_{\max} , S_m и S для нормирования требований к шероховатости поверхности приведены ниже (ГОСТ 2789—73).

**Средние арифметические отклонения
профиля R_a в мкм**

100	10,0	1,00	0,100
80	8,0	0,80	0,080
63	6,3	0,63	0,063
50	5,0	0,50	0,050
40	4,0	0,40	0,040
32	3,2	0,32	0,032
25	2,5	0,25	0,025
20	2,0	0,20	0,020
16,0	1,6	0,16	0,016
12,5	1,25	0,125	0,012
—	—	—	0,010
—	—	—	0,008

**Ряды высот неровностей профиля по 10 точкам R_z
и ряды наибольших высот неровностей профиля
 R_{\max} в мкм**

—	1000	100	10,0	1,00	0,100
—	800	80	8,0	0,80	0,080
—	630	63	6,3	0,63	0,063
—	500	50	5,0	0,50	0,050
—	400	40	4,0	0,40	0,040
—	320	32	3,2	0,32	0,032
—	250	25	2,5	0,25	0,025
—	200	20	2,0	0,20	—
1600	160	16	1,6	0,160	—
1250	125	12,5	1,25	0,125	—

**Средний шаг неровностей S_m
и средний шаг неровностей по вершинам S в мм**

—	10,0	1,0	0,100	0,010
—	8,0	0,80	0,080	0,008
—	6,3	0,63	0,063	0,006
—	5,0	0,50	0,050	0,005
—	4,0	0,40	0,040	0,004
—	3,2	0,32	0,032	0,003
—	2,5	0,25	0,025	0,002
—	2,0	0,20	0,020	—
—	1,60	0,16	0,016	—
12,5	1,25	0,125	0,0125	—

Устанавливаются следующие значения относительной опорной длины профиля (в %): 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90. Числовые значения (в %) уровня сечения профиля p выбираются из ряда: 5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90.

Стандарт 2789—73 устанавливает следующие базовые длины l (в мм), на которых производится определение параметров шероховатости: 0,01; 0,03; 0,08; 0,25; 0,80; 2,5; 8; 25. Числовые значения параметров шероховатости относятся к определенному ориентированному (направленному) сечению, нормальному номинальной поверхности.

Определение параметров (измерение шероховатости) должно производиться в направлении, соответствующем наибольшему значению

параметра шероховатости. В случаях, когда необходимо измерять шероховатость поверхности в другом направлении, оно должно быть указано на чертеже.

В соответствии с рекомендацией СЭВ 1508—73 «Чертежи технические» и ГОСТ 2789—73 «Шероховатость поверхностей. Параметры и характеристики» разработан новый ГОСТ 2.309—73 «Обозначение шероховатости поверхности», по которому применяется один из следующих знаков:



обозначение шероховатости в случае, когда метод обработки не устанавливается



обозначение шероховатости поверхности, образуемой удалением слоя материала



обозначение шероховатости поверхности, образуемой без удаления слоя материала (например, поверхности деталей, которые сохраняются в состоянии поставки и не требуют дополнительной обработки, — из сортового материала).

Значения параметра шероховатости по ГОСТ 2789—73 указывают в обозначении шероховатости: для параметров R_a — без символа, например 0,5; для остальных параметров после соответствующего символа указывается значение параметра, например R_{\max} 5,3; S_m 0,63; t_{50} 70; S 0,032; R_z 3,2 (t_{50} 70 — относительная опорная длина профиля $t_p = 70\%$ при уровне сечения $p = 50\%$).

Если необходимо нормировать требования к шероховатости поверхности с указанием диапазона значений параметра, тогда в обозначении шероховатости приводят пределы диапазона, размещая их в две строки, например:

$$\begin{array}{l} 1,00 \\ 0,63 \end{array} (R_a \text{ от } 1,00 \text{ до } 0,63);$$

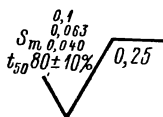
$$R_z \begin{array}{l} 0,080 \\ 0,032 \end{array} (R_z \text{ от } 0,080 \text{ до } 0,032),$$

$$R_{\max} \begin{array}{l} 0,80 \\ 0,32 \end{array} (R_{\max} \text{ от } 0,80 \text{ до } 0,32);$$

$$t_{50} \begin{array}{l} 50 \\ 70 \end{array} (t_p \text{ от } 50 \text{ до } 70 \text{ при уровне сечения } 50\%).$$

При нормировании требований к шероховатости поверхности с указанием двух и более параметров значения параметров записывают в обозначении шероховатости сверху вниз в следующем порядке: высота неровностей, шаг неровностей, относительная опорная длина профиля.

Например,



$$\begin{array}{l} R_a = 0,1 \\ S_m = \text{от } 0,063 \text{ до } 0,040 \\ t_{50} 80 \pm 10\% \end{array}$$

Измерение производится на базовой длине $l = 0,25$ мм.

Условные обозначения направлений неровностей указаны в табл. 12.2.

Способ обработки поверхности указывают в обозначении шероховатости только в случаях, когда он является единственным, применимым для получения поверхности с указанными значениями параметров шероховатости.

Например,



На рис. 12.2 и 12.3 приводятся примеры обозначения шероховатости поверхности на деталях.

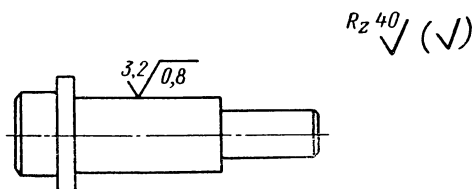


Рис. 12.2

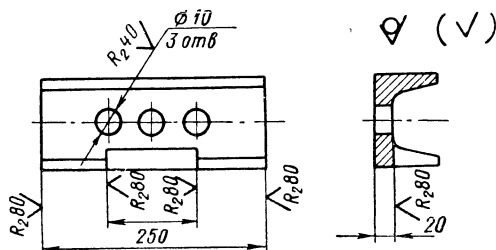


Рис. 12.3

На рис. 12.2 знак справа (\checkmark) означает, что на все поверхности, не обозначенные особо, распространяется обозначение $Rz 40$.

Значения параметров шероховатости в зависимости от способов и режимов обработки приведены в табл. 12.3.

При нормировании шероховатости поверхностей рекомендуется согласовывать допуск на шероховатость с допусками размеров, формы и расположения поверхностей. Высота неровностей Rz не должна пре-

ТАБЛИЦА 12.3

Зависимость параметров шероховатости от способов
и режимов обработки (по Ю. Р. Витенбергу)

Способ обработки	R_a в мкм	S_m в мм	t_p
Строгание	12,5—0,6	0,35—0,035	0,13—0,23
Точение	6,3—0,2	0,26—0,03	0,13—0,27
Торцовое фрезерование	12,5—0,4	0,4—0,04	0,12—0,22
Цилиндрическое фрезерование	12,5—1,2	0,4—0,07	0,09—0,22
Круглое шлифование	7,0—0,08	0,14—0,017	0,08—0,22
Обкатывание	2,0—0,06	0,36—0,05	0,2—0,4
Выглаживание	0,46—0,03	0,16—0,04	0,28—0,6

вышать: 5% допуска размера при допуске формы и расположения, составляющем 25% допуска размера; 10% допуска размера при допуске формы и расположения, составляющем 40% допуска размера; 20% допуска размера при допуске формы и расположения, составляющем 60% допуска размера. При допуске формы и расположения, превышающем 60% допуска размера, устанавливается шероховатость поверхности с высотой неровностей R_z , составляющей 20% и более допуска размера (БВ—РТМ 62—71).

2. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ

Методы измерения шероховатости поверхности делятся на бесконтактные и контактные. Наибольшее распространение из бесконтактных методов получили методы светового сечения, теневой проекции, метод с применением растров, микроинтерференционные методы.

Принципиальная схема метода светового сечения приведена на рис. 12.4. Освещенная узкая щель S проектируется микроскопом A_1 на поверхности P_1 и P_2 , образующие ступеньку высотой H . Изображение щели на поверхности P_1 займет положение S'_1 , а на поверхности P_2 положение S'_2 . В поле зрения микроскопа A_2 , ось которого расположена под углом 90° к оси проектирующего микроскопа, изображение щели будет иметь вид световой ступеньки (O_1 и O_2 — объективы микроскопов A_1 и A_2). Размер ступеньки b , соответствующий смещению изображения S'_2 относительно S'_1 , служит мерой высоты ступеньки H (высоты неровности).

Принцип теневой проекции представляет собой видоизмененный принцип светового сечения, в котором граница между светом и тенью создается острием ножа.

Сущность растрового метода измерения шероховатости поверхности состоит в том, что измеряемая поверхность рассматривается в микро-

скоп и одновременно на изображение поверхности накладывается муаровая картина, получаемая в результате переналожения штрихов исходного и рабочего растров. По искривлениям муаровых полос в зависимости от шероховатости поверхности судят о величине неровностей.

При микроинтерференционном методе измерения шероховатости измеряемая поверхность рассматривается в микроскоп и одновременно на изображение поверхности накладываются интерференционные по-

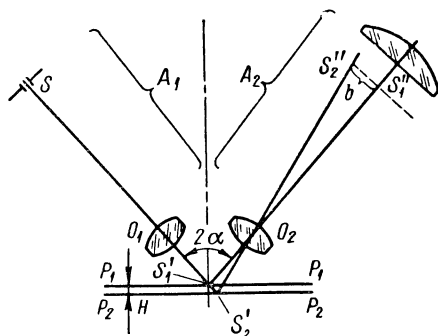


Рис. 12.4

лосы, которые искривляются в зависимости от шероховатости поверхности. По искривлению интерференционных полос определяют высоту неровностей.

Оптические приборы для измерения шероховатости поверхности, основанные на принципе светового сечения (ПСС), теневой проекции (ПТС) и интерференции света (МИИ), должны изготавливаться в соответствии с ГОСТ 9847—61.

Оптические характеристики приборов, основанные на принципах светового сечения и теневой проекции, приведены в табл. 12.4.

ТАБЛИЦА 12.4

Оптические характеристики приборов в ПСС и ПТС
по ГОСТ 9847—61

Апертура объектива	Линейное поле зрения прибора в мм	Пределы измерения высоты неровностей R_z в мкм (класс шероховатости)		Длина рабочего участка поля зрения прибора $l_{\text{раб}}$ в мм не менее
		от	до	
не менее				
0,03	10	320 (1)	80 (3)	8
0,11	3,5	40 (4)	20 (5)	2,5
0,30	1,0	10 (6)	6,3 (7)	0,8
0,40	1,0	6,3 (7)	3,2 (8)	0,8
0,45	0,3	1,6 (9)	—	0,25

Погрешности приборов типов ПСС и ПТС не должны превышать значений, указанных в табл. 12.5.

Непрямолинейность базовой линии в пределах длины рабочего участка поля зрения прибора не должна превышать ширины штриха перекрестия отсчетного устройства.

ТАБЛИЦА 12.5

Погрешности приборов типа ПСС и ПТС

Высота неровностей R_z в мкм (класс шероховатости)	Допустимая погрешность приборов в % (\pm)	Высота неровностей R_z в мкм (класс шероховатости)	Допустимая погрешность приборов в % (\pm)
320 (1)	2	10 (6)	14
160 (2)	3	6,3 (7)	18
80 (3)	5	3,2 (8)	21
40 (4)	8	1,6 (9)	24
20 (5)	11		

За базовую линию принята прямая линия, относительно которой устанавливается нить перекрестия отсчетного устройства и производится измерение высоты неровностей.

За рабочий участок поля зрения прибора $l_{\text{раб}}$ принят участок поверхности, расположенный симметрично относительно центра поля зрения прибора, с помощью которого производится определение параметров R_a и R_z . Длина рабочего участка поля зрения выбирается в соответствии с базовой длиной l . Погрешность приборов (δ), основанных на методе светового сечения и теневого сечения профиля поверхности, вычисляется по формуле

$$\delta = \frac{H - H_d}{H} 100\%,$$

где H — глубина риски образцовой меры, измеренной на поверяемом приборе, в мкм; H_d — действительное значение глубины риски в мкм.

В соответствии с ГОСТ 9847—61 в СССР выпускаются приборы типов ПТС-1 и ПСС-2.

Прибор ПТС-1 предназначен для оценки шероховатости грубо обработанных поверхностей с высотой неровностей R_z от 320 до 80 мкм (1—3-го классов чистоты). Он является накладным переносным прибором, может быть установлен как на плоские, так и на цилиндрические поверхности. Прибор не имеет отсчетных устройств для измерения величины неровностей. Оценка высоты неровностей производится сравнением величины изображения неровностей с делениями сетки окуляра.

На сетке имеются четыре деления, между которыми укладывается теневое изображение измеряемого профиля. Если теневое изображение профиля укладывается между первым и вторым делениями, это соответствует 3-му классу чистоты, если между первым и третьим делениями — 2-му классу, если между первым и четвертым делениями — 1-му классу чистоты.

Основные технические характеристики прибора ПТС-1: общее увеличение — $30\times$; поле зрения — 9 мм; увеличение окуляра — $15\times$.

Прибор ПСС-2 представляет собой усовершенствованную видеоизмененную модель ранее выпускавшегося прибора МИС-11. В отличие от прибора МИС-11 поле зрения у прибора ПСС-2 при работе со всеми объективами соответствует базовым длинам по ГОСТ 2789—73. Прибор снабжен объективами-планахроматами, обеспечивающими одинаковую резкость как в центре поля зрения, так и на краях. Объективы установлены попарно, при этом всегда сохраняется угол 90° между осями осветительного и наблюдательного микроскопов. Имеется встроенная фотокамера, три сменные щели и винтовой окулярный микрометр с внутренним отсчетом.

Растровый микроскоп ОРИМ-1 серийно выпускается отечественной промышленностью. Отличительная особенность ОРИМ-1 — использование одного объектива, проектирующего растр и одновременно рассматривающего измеряемую поверхность и спроектированный на нее растр.

ОРИМ-1 предназначен для измерения шероховатости с 4-го по 10-й класс наружных поверхностей преимущественно с направленными следами обработки. На приборе можно производить также фотографирование поверхностей. Прибор снабжен тремя объективами. Поле зрения прибора для различных объективов (мм): 2,5; 0,9; 0,4; общий вид прибора показан на рис. 12.5.

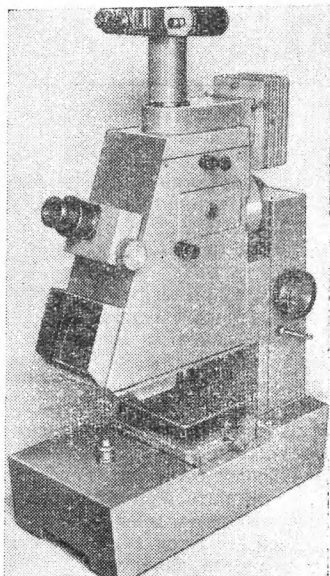


Рис. 12.5

В соответствии с ГОСТ 9847—61, приборы типа МИИ (микронинтерферометры) должны обеспечивать определение шероховатости поверхности путем вычисления по параметрам R_z и R_a в пределах с 10-го по 14-й классы.

В табл. 12.6 приведены оптические характеристики приборов типа МИИ.

В СССР в соответствии с ГОСТ 9847—61 выпускаются следующие модели приборов типа МИИ.

1. Микронинтерферометр МИИ-4 — двухобъективный прибор предназначен для визуальной оценки, измерения и фотографирования высоты неровностей тонко обработанных наружных поверхностей изделий. Пределы измерения — 10—12-й классы шероховатости, увеличение при визуальном наблюдении — $500\times$, при фотографировании — $290\times$; поле зрения — 0,32 мм. Проверяемая поверхность освещается белым и монохроматическим светом. Вариация показаний для всех классов шероховатости не превышает 0,04 мкм.

ТАБЛИЦА 12.6

Оптические характеристики приборов типа МИИ
(по ГОСТ 9847—61)

Общее увеличение прибора, не менее	Апертура объектива, не менее	Линейное поле зрения в мм, не менее	Чувствительность прибора в долях полосы	Пределы измерения (классы шероховатости)	Длина рабочего участка поля зрения $l_{\text{раб}}$ в мм, не менее
500×	0,50	0,32	0,05	10—12	0,25
700×	0,65	0,20	0,05	13—14	0,08

2. Микроинтерферометр МИИ-9 — однообъективный двухлучевой интерференционный микроскоп. Пределы измерения — 10—12-й классы шероховатости; увеличение при визуальном наблюдении — 500×, при фотографировании — 125×; поле зрения — 0,35 мм. Прибор работает в белом и монохроматическом свете. Наименьшая высота неровностей, которую можно измерить на приборе, составляет 0,026 мкм. Прибор отличается от МИИ-4 более резкой и яркой интерференционной картиной.

3. Микроинтерферометр МИИ-10 отличается от предыдущих моделей тем, что на нем дополнительно можно производить измерения иммерсионно-репличковым методом в монохроматическом свете. Сочетание иммерсионно-репличкового метода с двухлучевой интерференцией позволяет измерять шероховатость поверхности в диапазоне от 5 до 12-го класса шероховатости. Иммерсионно-репличковым методом пользуются для измерения высоты неровностей металлических и неметаллических поверхностей в труднодоступных местах и внутренних поверхностей деталей любых размеров и конфигурации, в том числе и без снятия деталей со станка. Материалом для реплик служит основа киноплёнки с известным показателем преломления. Реплика, снятая с измеряемой поверхности, помещается в камеру с иммерсионной жидкостью и устанавливается вместо измеряемой детали. Набор иммерсионных жидкостей, входящих в комплект прибора, позволяет измерить цену деления интерференционной полосы.

Цена деления интерференционной полосы K может быть определена по формуле

$$K = \frac{\lambda}{2(n_2 - n_1)},$$

где λ — длина волны света в мкм; n_1 — показатель преломления иммерсионной жидкости; n_2 — показатель преломления плёнки.

Если $\lambda = 0,589$ мкм (для желтой линии), $n_1 = 1,449$ (для силиконового масла), $n_2 = 1,506$ (для киноплёнки), то

$$K = \frac{0,589}{2(1,506 - 1,449)} = 5,2 \text{ мкм}.$$

4. МИИ-12 — микроинтерферометр предназначается для измерения шероховатости поверхностей, у которых следы обработки расположены произвольно (хонингование, электрополирование и др.). Пределы измерения высот неровностей — 0,03—0,8 мкм (10—12-й классы шероховатости). Длина рабочего участка в плоскости объекта — 0,25 мм.

В приборе используется специальная спектральная насадка, устанавливаемая вместо окуляра. Это позволяет из общего изображения измеряемой поверхности вырезать узкий участок, который затем развертывается в спектр. В поле зрения прибора наблюдается как бы серия профилограмм, записанных в разных масштабах, уменьшающихся от фиолетовой полосы к красной.

Технические характеристики применяющихся в настоящее время отечественных оптических приборов для измерения высоты неровностей приведены в табл. 12.7.

В соответствии с ГОСТ 9504—60 «Приборы щуповые для определения шероховатости поверхности» должны выпускаться как профилометры, непосредственно показывающие среднее арифметическое отклонение профиля поверхности R_a , так и профилографы, записывающие профиль поверхности. Стандарт устанавливает пять типов приборов.

Наименование и тип прибора	Погрешность передаточного отношения в % (\pm)	Погрешность прибора в % (\pm)
Профилометр П-7	7	10
» П-10	10	10
» П-16	16	25
Профилограф ПГ-5	5	—
» ПГ-10	10	—

Погрешность передаточного отношения профилометров δ_{Π} вычисляется по формуле

$$\delta_{\Pi} = \frac{R_a - R'_a}{R'_a} 100\%,$$

где R_a — показание прибора в мкм; R'_a — величина задаваемых игле перемещений в мкм.

Погрешность профилометра δ вычисляется по формуле

$$\delta = \frac{R_a - R'_{a_0}}{R'_{a_0}} 100\%,$$

где R_a — показание прибора в мкм; R'_{a_0} — среднее арифметическое отклонение профиля поверхности исходного образца в мкм.

Погрешность передаточного отношения профилографа ξ_{Π} (в %) вычисляется по формуле

$$\xi_{\Pi} = \frac{\frac{H}{v_B} - H_0}{H_0} 100\%,$$

где H — величина перемещения пера (светового пятна), определяемая по профилограмме прибора, в мкм; H_0 — величина задаваемых игле перемещений в мкм, v_B — номинальная величина вертикального увеличения прибора.

ТАБЛИЦА 12.7
Основные технические характеристики оптических приборов для измерения шероховатости поверхности

Наименование прибора	Пределы измерения высоты неровностей R_z в мкм (классы шероховатости)	Погрешность прибора	Увеличение микрообъектива	Числовая апертура объектива	Общее увеличение прибора	Линейное поле зрения в мм
Микроинтерферометр МИИ-4	От 0,8 до 0,2 (10—12)	Вариация показаний для всех классов чистоты не более 0,04 мкм	33X	0,65	500X — при визуальном наблюдении, 290X — при фотографировании	0,32
Микроинтерферометр МИИ-9	От 0,8 до 0,2 (10—12)	—	25X	0,50	500X — при визуальном наблюдении, 125X — при фотографировании	0,35
Микроинтерферометр МИИ-10	От 1,0 до 0,2 (6—12)	—	25X	0,50	375X; 500X — при визуальном наблюдении, 200X — при фотографировании	0,40; 0,36

Продолжение табл. 12.7

Наименование прибора	Пределы измерения высоты неровностей R_z в мкм (классы шероховатости)	Погрешность прибора	Увеличение микрообъектива	Числовая апертура объектива	Общее увеличение прибора	Линейное поле зрения в мм
Микропрофилометр МИИ-12	От 0,8 до 0,2 (10—12)	—	25×	0,50	500×	0,25
Двойной микроскоп МИС-11	От 80 до 1,6 (5—9)	От ± 4 до $\pm 24\%$	5,8×	0,13	87×	1,95
			10,6×	0,30	157×	1,08
			18×	0,37	270×	0,64
			34,5×	0,50	517×	0,33
Двойной микроскоп ПСС-2	От 40 до 1,6 (4—9)	—	5×	0,11	75×	3,60
			15×	0,30	225×	1,20
			22,4×	0,40	326×	0,80
			50×	0,50	750×	0,36
Прибор теневое сечения ПТС-1	От 320 до 80 (1—3)	—	1,8×	0,03	27×	10

Примечание. Наблюдения на всех приборах (кроме приборов МИИ-12 и ПТС-1, где наблюдение производится только визуально) при измерениях осуществляются визуальным и фотографическим методом.

Иглы приборов (по ГОСТ 9017—59) должны иметь радиусы закругления 2 или 10 мкм.

В соответствии с ГОСТ 9504—60 отечественная промышленность выпускает три типа приборов с электромеханическими преобразователями.

1. Профилограф-профилометр модели 201, блочной конструкции (рис. 12.6) предназначается для измерения шероховатости поверхности в пределах 5—14-го классов.

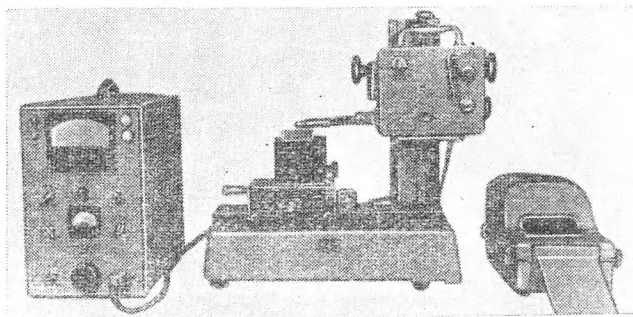


Рис. 12.6

Для классов 5—12 измерение производится по параметру R_a (отсчет показаний ведется по показывающему прибору). Для классов 5—14 производится также запись показаний в виде профилограммы, по которой можно определить числовые значения R_z и R_a .

Технические характеристики профилограф-профилометра модели 201

Пределы измерения:	
по показывающему прибору в мкм	
R_a	От 5 до 0,04 (5—12-й классы)
при записи профилограммы в мкм R_z	От 20 до 0,05 (5—14-й классы)
Погрешность показаний по показывающему прибору	$\pm 10\%$
Погрешность вертикального увеличения	$\pm 4\%$
Вертикальное увеличение	От $1 \cdot 10^3$ до $200 \cdot 10^3$ (8 ступеней)
Горизонтальное увеличение	От 2 до 4000 (18 ступеней)
Усилие осязывающей иглы	Не более 0,1 гс (0,1 сН)
Градиент усилия	Не более 0,0005 гс/мкм (5 мкН/мкм)
Вид записи	Электротермическая в прямоугольной системе координат
Ширина записи	80 мм
Наибольшая длина трассы	40 мм
Длина измерения (для показывающего прибора)	1,6; 3,2; 6,0 мм
Скорость трассирования профилографа	0,2; 1,0; 10 мм/мин
Наименьший диаметр поверяемого отверстия:	
при глубине до 14 мм	8 мм
» » 100 мм	20 мм
» » 125 мм	45 мм
Радиус осязывающей иглы	0,010—0,012 или 0,002—0,004 мм
Радиус опоры	Опора сменная $R = 50$ мм и плоская $R = \infty$
Масса прибора	80 кг

2. Профилометр-профилограф модели 202 по сравнению с моделью 201 более универсален и позволяет расширять диапазон вертикальных увеличений и измерять шероховатость криволинейных поверхностей. Прибор укомплектован специальными устройствами:

1) для определения шероховатости криволинейных поверхностей с радиусом от 50 мм до ∞ ;

2) для определения шероховатости шариков и роликов диаметром 1—25 мм;

3) преобразователем (датчиком) для определения шероховатости от $R_z = 80$ мкм и более (3-й класс);

4) приспособлением для крепления зубчатых колес;

5) приспособлением для измерения волнистости;

6) приспособлением для измерения шероховатости малых отверстий диаметром от 3 мм на глубину 5 мм.

3. Профилометр модели 240 — переносный прибор — предназначен для измерения шероховатости поверхностей по параметру R_a от 2,5 до 0,04 мкм (6—12-й класс) в цеховых условиях. Погрешность показаний $\pm 16\%$; измерительное усилие — 1 гс (1 сН); радиус ошупывающей иглы — 10 мкм.

В последнее время взамен переносного профилометра модели 240 освоен портативный профилометр модели 253. Прибор предназначен для измерения шероховатости поверхности изделий в цеховых условиях.

Действие прибора основано на принципе ошупывания алмазной иглой измеряемой поверхности. Колебания иглы преобразуются в напряжение с помощью механотронного преобразователя. Шкала прибора отградуирована в значениях R_a .

Техническая характеристика профилометра модели 253

Предел измерения R_a	От 2,5 до 0,04 мкм (6—12-й классы по ГОСТ 2789—73)
Погрешность показаний	$\pm 10\%$
Длина трассы интегрирования	3,2 мм
Скорость трассирования преобразователя	0,62 мм/с
Измерительное усилие ошупывающей иглы	Не более 1 гс (1 сН)
Радиус закругления ошупывающей иглы	10 мкм
Наименьший диаметр поверяемого отверстия:	
на глубине до 20 мм	6 мм
на глубине до 130 мм	16 мм
Масса прибора	12 кг

К прибору прилагаются стойка и призма для измерения цилиндрических деталей.

Помимо универсальных контактных приборов, отечественная промышленность выпускает приборы специального назначения, предназначенные для измерения шероховатости прямолинейных поверхностей наружных и внутренних колец шарикоподшипников, дорожек качения наружных и внутренних колец подшипников с радиусом желоба дорожки качения 3—8 мм.

Метод слепков. Часто встречаются изделия, шероховатость поверхностей которых невозможно определить с помощью приборов. В таких случаях применяют метод слепков. Сущность его состоит в том, что по определенному рецепту изготавливают специальную массу, которую с усилием прикладывают к поверхности измеряемой детали. После того как

масса застынет, она легко отделяется от поверхности. Граница соприкосновения массы с поверхностью повторяет неровности, имеющиеся на испытуемой поверхности. Измерив шероховатость поверхности слепка, можно определить параметры шероховатости проверяемой поверхности.

Материалами для изготовления слепков могут быть: целлулоид, легкоплавкие сплавы, воск, гипс-хромпик, лак-цапон, парафин, сера, масляная гуттаперча и др. Наилучшие результаты по воспроизводимости дают слепки из масляной гуттаперчи, воска. Масляная гуттаперча при нагревании ее до $89-90^{\circ}\text{C}$ (горячая вода) становится пластичной и высокопластичной, что позволяет получить форму тончайших контуров предмета.

Исходными материалами для приготовления массы являются гуттаперча — 45%, минеральное масло (трансформаторное) — 35%, нефтяной битум марки У — 20% (применяется как связующий материал).

Для изготовления массы в разогретое масло опускают кусочки битума и на умеренном огне доводят его до кипения, все время помешивая его. Когда битум совершенно растворится, необходимо дать раствору отстояться, чтобы осели твердые частицы. Очищенный раствор следует слить, не смешивая его с остатками примесей, осевших на дно. Слитый раствор битума в масле опять доводят до кипения и добавляют к нему небольшими порциями мелко нарезанную гуттаперчу при этом все время масса тщательно перемешивается. Когда перемешивание массы вследствие густоты становится затруднительным, следует вынуть из посуды массу и перемешивать ее руками до исчезновения твердых комочков. После этого массу придают форму пластинки толщиной 5—6 мм и прижимают ее к контролируемой поверхности для снятия слепка.

На рабочем месте не всегда удобно пользоваться существующими приборами для измерения шероховатости поверхности. Поэтому широко распространен метод контроля шероховатости сравнением изделия с аттестованной деталью или со стандартным образцом шероховатости. Этот метод не дает числовой оценки шероховатости, но в пределах одного класса чистоты позволяет оценить шероховатость поверхности. Сущность метода состоит в том, что визуально (на глаз) или осязанием (ногтем или ребром монеты) с помощью лупы или специального микроскопа сравнения поверхность детали сравнивается с поверхностью стандартного образца. При контроле с помощью микроскопа сравнения в поле зрения микроскопа одновременно наблюдаются контролируемая поверхность и поверхность стандартного образца при одинаковом увеличении и освещенности. Стандартный образец должен быть того же класса, что и сравниваемая деталь.

В качестве стандартного образца могут быть детали или специально изготовленные образцы, рабочие образцы шероховатости поверхности, изготавливаемые по ГОСТ 9378—60. Стандартные образцы должны быть изготовлены из тех же материалов, из которых изготавливаются детали, подлежащие контролю. Их поверхности должны быть обработаны тем же методом (точением, фрезерованием, шлифованием и т. д.), что и сравниваемые поверхности, так как вид поверхностей, обработанных различными механическими способами, имеющими одинаковые величины неровностей, отличаются друг от друга. При визуальном или осязательном контроле правильные результаты получаются только для поверхностей до 7—8-го класса шероховатости. Контроль с помощью лупы дает правильные результаты до 9-го класса шероховатости. При кон-

троле с помощью микроскопа сравнения можно получить правильные результаты даже для поверхностей выше 9-го класса чистоты.

Рабочие образцы шероховатости по ГОСТ 2789—73 (рис. 12.7) должны изготавливаться от 4 до 13-го классов чистоты из стали и чугуна следующих видов обработки: наружное точение; внутренняя расточка; развертывание; торцовое фрезерование; цилиндрическое фрезерование; строгание; круглое шлифование; плоское шлифование; торцовое

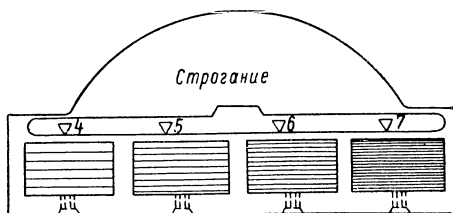


Рис. 12.7

шлифование; внутреннее шлифование; полирование; доводка. Допускается изготовление рабочих образцов шероховатости и для других видов обработки и материалов. Образцы должны иметь цилиндрическую и плоскую форму. Числовые значения шероховатости поверхностей рабочих образцов и допускаемые отклонения приведены в табл. 12.8.

Неоднородность шероховатости рабочей поверхности каждого образца не должна превышать 35—50% в зависимости от вида обработки.

ТАБЛИЦА 12.8

Числовые значения шероховатости рабочих поверхностей образцов

Образцы для классов шероховатости по ГОСТ 2789—73	Номинальное значение параметров шероховатости в мкм		Предельные отклонения R_a и R_z от номинала по ГОСТ 14026—68 в мкм			
			Нижнее		Верхнее	
	R_a	R_z	$\Delta R_a \text{ min}$	$\Delta R_z \text{ min}$	$\Delta R_a \text{ min}$	$\Delta R_z \text{ min}$
4	—	32	—	6,4	—	4,8
5	—	16	—	3,2	—	2,4
6	2,0	—	0,4	—	0,30	—
7	1,0	—	0,2	—	0,15	—
8	0,5	—	0,1	—	0,075	—
9	0,25	—	0,05	—	0,0375	—
10	0,125	—	0,025	—	0,025	—
11	0,063	—	0,0126	—	0,126	—
12	0,032	—	0,0064	—	0,0064	—
13	—	0,08	—	0,016	—	0,016

Поверка профилографов производится по ГОСТ 14627—69. Вертикальное увеличение поверяют по аттестованным вибраторам по синусоидальному сигналу, частота которого соответствует шагу неровностей 30 мкм при максимальной скорости трассирования. Поверка вертикального увеличения может производиться по аттестованным одноштриховым образцам, а также по ступенькам, образованным из плоскопараллельных концевых мер длины, притертых к пробному стеклу.

Профилометры проверяются по ГОСТ 14628—69. Погрешность прибора определяют с помощью вибраторов и аттестованных образцов с регулярным профилем.

Поверка двойных микроскопов осуществляется по инструкции 147—58 Комитета стандартов, мер и измерительных приборов при СМ СССР. Погрешность прибора определяется по аттестованным одноштриховым образцам.

Поверка рабочих образцов шероховатости поверхности производится по ГОСТ 14026—68. В соответствии с ГОСТом шероховатость рабочей поверхности образцов проверяется профилографом или профилометром на 10 участках, расположенных равномерно по всей поверхности образца, с интервалами между участками не менее 2 мм.

При определении шероховатости поверхности образца с помощью профилографа значения R_z и R_a вычисляются по профилограмме в соответствии с ГОСТ 2789—73 и методическими указаниями № 176 Комитета стандартов, мер и измерительных приборов при СМ СССР¹.

Список литературы

1. **Карташов А. И.** Шероховатость поверхности и методы ее измерения. М., Стандартгиз, 1964, с. 163.
2. **Лоповок Т. С.** Стандартизация размерных параметров в машиностроении. М. Стандартгиз. 1969, с. 198.

¹ Взамен методических указаний разрабатывается ГОСТ.

ГЛАВА ТРИНАДЦАТАЯ

ИЗМЕРЕНИЕ ТОЛЩИНЫ ПОКРЫТИЙ

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Металлический и неметаллический слой, наносимый различными методами, обычно называют **п о к р ы т и е м** или пленкой. Правильнее называть наносимый слой пленкой, так как покрытие — это процесс нанесения пленки. В соответствии с этим приборы для измерения толщин пленок следует называть толщиномерами пленок (покрытий).

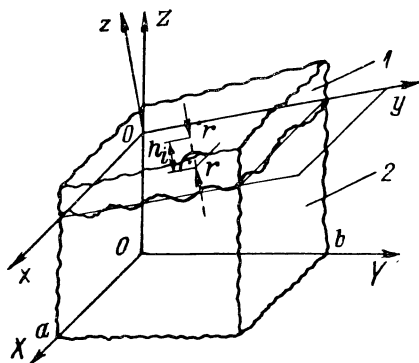


Рис. 13.1

Основной параметр, характеризующий пленку, — толщина. Толщина пленки — это расстояние по нормали между двумя плоскопараллельными поверхностями для идеальных плоских изделий. Для реальных плоских изделий, поверхности которых обычно имеют отклонения от плоскостности и параллельности, различную волнистость и шероховатость поверхности, правильно определять толщину пленки как среднюю толщину $h_{ср}$. Средняя толщина пленки (рис. 13.1) — это среднее арифметическое расстояние между всеми точками поверхностей пленки 1 и подложки 2. Толщина пленки h_i в определенной точке — расстояние между определенными точками поверхностей пленки и подложки¹ по нормали.

¹ Подложка — основной материал детали, на который наносят покрытие.

При этом определении толщины пленки неоднородностью толщины пленки по поверхности является максимальная разность между толщиной в i -й точке и средней толщиной, т. е. $\eta = |h_i - h_{\text{ср}}|_{\text{max}}$, или разность между наибольшей и наименьшей толщинами. Соответственно для цилиндрических изделий толщину пленки определяют как среднее между несколькими точками цилиндрической поверхности пленки и подложки по нормали.

Погрешность результата измерений при однократном измерении толщины пленки с помощью толщиномеров пленок оценивается пределом допускаемой основной погрешности, которая обычно выражается в процентах.

Толщину пленки в определенной точке можно измерять с помощью толщиномеров, имеющих измерительные преобразователи с площадью контакта менее 1 мм^2 . Среднюю толщину пленки можно измерять толщиномерами, имеющими измерительные преобразователи с площадью контакта в пределах 1 до 75 мм^2 и более.

В соответствии с ГОСТ 3002—70 шероховатость поверхностей деталей, предназначенных для нанесения защитного покрытия, должна быть не ниже 4-го класса, для нанесения защитно-декоративного покрытия не ниже 6-го класса, для нанесения твердого и электроизоляционного анодированного покрытия не ниже 7-го класса (по ГОСТ 2789—59)¹.

В ГОСТ 3002—70 указаны требования по толщине, внешнему виду, прочности сцепления, пористости, защитным свойствам для 27 видов покрытий (цинкового, кадмиевого, медного, никелевого, хромового, оловянного, свинцового, серебряного и др.).

2. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ПЛЕНОК (ПОКРЫТИЙ)

В соответствии с ГОСТ 16875—71 методы контроля толщины пленок (покрытий) подразделяются на физические неразрушающие, физические разрушающие и химические.

Неразрушающие методы в свою очередь делятся на прямые и косвенные.

В качестве толщиномеров для прямого измерения служат универсальные приборы, применяемые для линейных измерений и контроля шероховатости поверхности. Толщиномеры для прямого измерения используются в тех случаях, когда на подложке имеются места, не покрытые пленкой. При этом толщина измеряется непосредственно по ступеньке. Без ступеньки измерять толщину прямым методом можно только прозрачные пленки с помощью приборов для измерения шероховатости поверхности (ГОСТ 9847—61).

В качестве толщиномеров для косвенного измерения и применяются приборы, действие которых зависит от изменения толщины пленки, а также от свойств материалов пленки и подложки.

Наибольшее распространение получили толщиномеры, основанные на магнитном, электромагнитном, индукционном, радиоактивном методах, а также на методе вихревых токов.

¹ Соответственные значения по ГОСТ 2789—73 см. главу двенадцатую.

Магнитные толщиномеры

Магнитные толщиномеры применяются для измерения толщины пленок из немагнитного материала, нанесенного на ферромагнитную подложку.

Магнитные толщиномеры подразделяются на отрывные с постоянным магнитом и отрывные с электромагнитом. Действие отрывных толщиномеров с постоянным магнитом основано на зависимости между

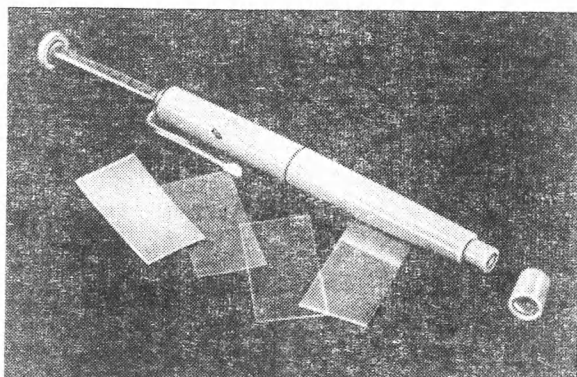


Рис. 13.2

силой отрыва постоянного магнита, определяемой динамометром, и толщиной пленки. Действие отрывных толщиномеров с электромагнитом основано на зависимости между силой переменного тока, протекающего через катушку электромагнита в момент отрыва его сердечника от поверхности измеряемой пленки, и толщиной пленки.

Магнитные толщиномеры — наиболее простые из всех толщинометров, и поэтому они получили широкое распространение при измерении изделий непосредственно в цеховых условиях. Общий вид толщиномера ИТП-1 с постоянным магнитом показан на рис. 13.2.

Основные технические характеристики магнитных толщинометров приведены в табл. 13.1.

Индукционные толщинометры

Принцип действия этих приборов основан на изменении взаимной индукции между первичной и вторичной обмотками чувствительного элемента измерительного преобразователя в зависимости от толщины пленки. Приборы предназначаются для измерения толщин немагнитной или слабомагнитной пленки на ферромагнитной подложке. Недостатком этих приборов, применяемых для автоматизированного и неавтоматизи-

ТАБЛИЦА 13.1

Технические и метрологические характеристики
магнитных толщиномеров

Наименование прибора	Тип	Диапазон измерения в мкм	Предел допускаемой погрешности	Примечание
Магнитный карандашного типа	ИТП-1	10—500	$\pm 10\%$	Покрытие — неферромагнитное, подложка — ферромагнитная
Магнитный отрывной рычажного типа	МТА-1	1—10 1—50	$\pm 1,5$ мкм $\pm 2,0$ мкм	Покрытие — никель по стали
	В-22	1—25	$\pm 10\%$	Покрытие — никель, подложка — неферромагнитная
	В-166	2—140	$\pm 4,0$ мкм	Покрытие — неферромагнитное, подложка — ферромагнитная
		4—26	$\pm 1,0$ мкм	Покрытие — никель, подложка — ферромагнитная
	МТ-2	10—600	$\pm 10\%$	Покрытие — неферромагнитное, подложка — ферромагнитная
		2—100	$\pm 10\%$	Покрытие — никель, подложка — ферромагнитная
Электромагнитный отрывной	МТ-ДА3	2—120	$\pm (1 \div 5)$ мкм	Покрытие — неферромагнитное, подложка — ферромагнитная
		2—100	$\pm (1 \div 2,5)$ мкм	Покрытие — никель, подложка — ферромагнитная
	ИТП-5	1—25	$\pm 10\%$	Покрытие — неферромагнитное, подложка — ферромагнитная
	2П-38	3—150	$\pm 1,0$ мкм	То же
	МОСК-2	3—200	$\pm 10\%$	»

рованного контроля, является относительно большая измерительная поверхность измерительного преобразователя. Поэтому на показания прибора сильно сказываются отклонения от правильной геометриче-

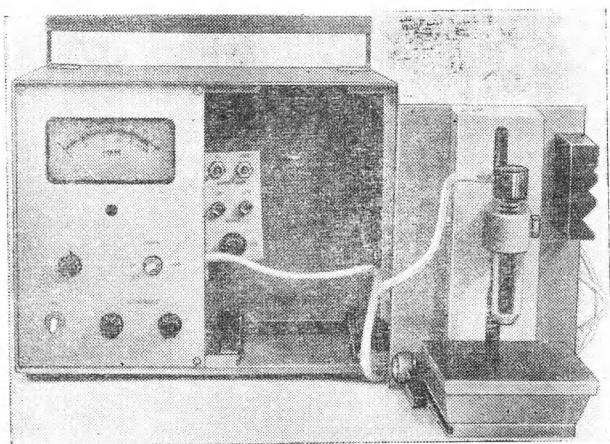


Рис. 13.3

ской формы поверхности подложки, а также краевой эффект. Общий вид индукционного толщиномера ТС-1 представлен на рис. 13.3.

Основные технические характеристики индукционных отечественных толщинометров приведены в табл. 13.2.

Индуктивные толщинометры

Принцип действия этих приборов основан на изменении индуктивного сопротивления катушки преобразователя в зависимости от толщины пленки. Эти приборы предназначены для измерения толщины немагнитной или слабомагнитной пленки на ферромагнитной подложке. Они также могут применяться для автоматизированного и неавтоматизированного контроля. На показания приборов сильно влияют изменения магнитной проницаемости подложки и расположения измерительного преобразователя.

Основные технические характеристики индуктивных толщинометров, применяемых в СССР, приведены в табл. 13.2.

Индукционные и индуктивные толщинометры целесообразно применять для контроля немагнитных металлических и неметаллических пленок (покрытий) на ферромагнитных подложках. Преимущество этих приборов заключается в наличии переносных преобразователей, позволяющих измерять толщину пленки в труднодоступных местах и в отверстиях.

ТАБЛИЦА 13.2

Основные технические характеристики индукционных и индуктивных толщиномеров

Тип прибора	Диапазон измерения в мкм	Предел допускаемой погрешности	Характеристика материала измеряемой детали		Примечание
			Пленка	Подложка	
Индукционные толщиномеры					
ТПО	1—30 1—20	$\pm 10\%$ $\pm 10\%$	Неферромагнитный Никель	Ферромагнитный »	Прибор может быть применен для автоматизированного контроля толщин пленок мелких деталей В качестве материала пленки могут быть лакокраски, конденсаторная бумага, фольга
ВЧ-10Т ЭТ-3	10—1300 1—500	$\pm 10\%$ $\pm 10\%$	Неферромагнитный и лакокрасочный	»	
ЭТУ-2	3—60	$\pm 1,0$ мкм при $h \leq 10$ мкм, $\pm 10\%$ при $h \geq 10$ мкм	Неферромагнитный	»	
КТП-2М ТС-1	1—100 5—60	$\pm 10\%$ $\pm (1,0 + 0,1h)$ мкм	Неферромагнитный	»	
Индуктивные толщиномеры					
ТПО-1	0,1—90	$\pm 10\%$	Неферромагнитный	Ферромагнитный	Прибор может быть применен для автоматизированного контроля мелких деталей — В качестве пленок могут быть неметаллические (лаки, эмали и др.)
ЭМКП-4	1—100 10—30	$\pm 10\%$ $\pm 10\%$	Неферромагнитный Никель	»	—
ИТП-200	1—200	$\pm 10\%$	Неферромагнитный (хром, цинк, кадмий и др.)	»	В качестве пленок могут быть неметаллические (лаки, эмали и др.)
МИП-10	0,25—75 60—3000	$\pm (1,5 + 0,1h)$ мкм $\pm 10\%$	Неферромагнитный	»	—

Примечание. h — толщина пленки.

Примечание. h — толщина пленки.

Токовихревые толщиномеры

Принцип действия этих приборов основан на появлении вихревых токов в электропроводящем материале пленки или подложки при переменном электромагнитном поле катушки индуктивности измерительного преобразователя.

Токовихревые толщиномеры получили наибольшее распространение в СССР. Они состоят из высокочастотного генератора, усилитель-

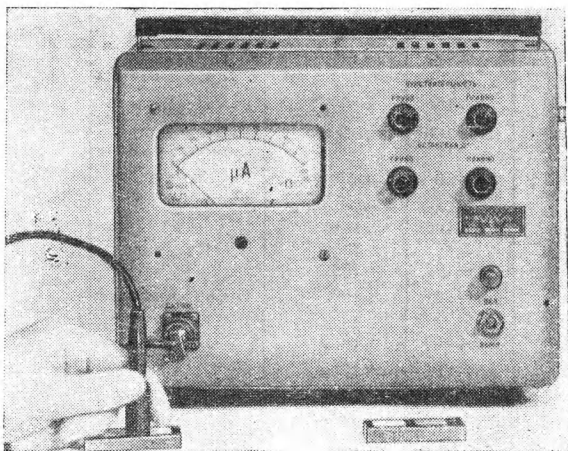


Рис. 13.4

ных блоков и измерительного преобразователя, создающего направленное высокочастотное электромагнитное поле.

Наиболее целесообразно применять эти приборы для измерения толщин немагнитных металлических, слабомагнитных (никелевых) и неметаллических пленок (покрытий) нанесенных на диэлектрики. Токовихревые приборы являются переносными, поэтому ими удобно пользоваться в цеховых условиях.

Так как преобразователи у многих толщиномеров выносные, то ими можно измерять толщины пленок в труднодоступных местах и в отверстиях.

Диапазоны измерений толщин составляют 0—20 000 мкм; погрешность измерения $\pm (5 \div 10)\%$. Недостаток этих толщиномеров состоит в индивидуальной градуировке прибора для определенного сочетания материалов пленки и подложки. Общий вид токовихревого толщиномера КТА-1 показан на рис. 13.4. Основные технические характеристики токовихревых толщиномеров, применяемых в СССР, даны в табл. 13.3.

ТАБЛИЦА 13.3

Технические и метрологические характеристики
токовихревых толщиномеров

Тип прибора	Диапазон измерений в мкм	Предел допускаемой погрешности	Материал покрытий	Материал подложки
ТПО-В	1—30	$\pm 8\%$	Металл	Ферромагнитный металл
	10—500	$\pm 8\%$	Неметалл	Металл
ИДП-3	5—200	$\pm 10\%$	Неэлектропроводный	Неферромагнитный металл
ТМ-57	1—100	$\pm 10\%$	Металл	Металл
МТ-2	2—500	$\pm 5\%$	Неэлектропроводный	»
ТПН-1	5—50	$\pm 3,0$ мкм	То же	Неферромагнитный металл
	50—300	± 12 мкм	»	То же
ИДП-5	2—100	$\pm 10\%$	»	»
ЭМТ-2БМ	1—30	$\pm 10\%$	Никель	Сталь
	2—100	$\pm 10\%$	Медь	»
ЭМТ-21	0,4—20	$\pm 10\%$	Неферромагнитный	»
ЭМТ-2П	1—100	$\pm 10\%$	То же	»
ТСП-1	5—25	$\pm 10\%$	»	Неферромагнитный металл
ИГП-2	2,5—25	$\pm 10\%$	Серебро	Латунь; титан
ППМ-6	2—50	$\pm 15\%$	Неферромагнитный	Ферромагнитный
УП-3М	1—50	$\pm 7\%$	Неферромагнитный; никель	Ферромагнитный; ферромагнитный металл
	2—100	$\pm 7\%$	Неферромагнитный	Неферромагнитный металл
	3—150	$\pm 7\%$	То же	Неметалл
	4—200	$\pm 7\%$	Неметалл	Неферромагнитный металл
ВИГП-1Ф	1—40	1,0 мкм	Медь, цинк, кадмий, олово	Сталь
ВТМС-1П	1—8	—	Золото	Полупроводник
ВИНП-1П	1—5	—	Никель	»
КГП-1	1—50	$\pm 20\%$	Медь, цинк, кадмий, хром, никель	Сталь
ТПЦ-1	1—25	$\pm (0,5 + 0,05h)$ мкм	Цинк	Сталь
ПИТ-1	2—25	—	Неферромагнитный	Электропроводный
ИТК-62	5—800	$\pm 10\%$	Неэлектропроводный	Неферромагнитный металл

Продолжение табл. 13.3

Тип прибора	Диапазон измерений в мкм	Предел допускаемой погрешности	Материал покрытий	Материал подложки
КТП-1А	0,5—50	$\pm 6\%$	Медь, цинк, кадмий, хром, олово	Сталь
ИТП-У	0,5—30 0,5—50 0,25—50 10—1000	$\pm 6\%$ $\pm 6\%$ $\pm 10\%$ $\pm 10\%$	Никель Серебро Металл Неэлектропроводный	Латунь » Металл »
ИТП-Д	5—250	$\pm 10\%$	То же	»
ТПК-1М	3—300	$\pm 10\%$	»	Неферромагнитный металл
ТЦП-2	6—300	$\pm 5\%$	Металл	Стекло, пластик
ТПМ-ПЗ	20—2000	$\pm 5\%$	Неэлектропроводный	Металл
ТПМ-Н1	20—1000	$\pm 5\%$	То же	»
Примечание. h — толщина пленки.				

ТАБЛИЦА 13.4

Технические и метрологические характеристики радиоизотопных толщиномеров

Тип прибора	Диапазон измерения в мкм	Предел допускаемой погрешности	Материал покрытия	Материал подложки
БТП-3	10—50	$\pm 10\%$	Медь	Гетинакс
БТП-4	5—50	$\pm 2,0$ мкм $\pm 1,0$ мкм	Цинк Олово	Сталь »
ИТП-476М	0,1—5	$\pm 0,15$ мкм	»	»
РТ-1	10—100	$\pm 10\%$	Серебро	Кварц, керамика
РТ-2	10—100	$\pm 10\%$	Медь	Гетинакс
РТ-3	10—100	$\pm 10\%$	Магний	Сталь
РТ-4	5—50	$\pm 10\%$	Серебро	Медь
Бета-микрометр	0,4—10	$\pm (0,2 + 0,02h)$ мкм	Платина	Титан
Примечание. h — высота пленки.				

Радиоизотопные толщиномеры

Принцип действия этих приборов основан на изменении интенсивности обратного рассеяния ядерных излучений от толщины пленки. В качестве излучателя применяется мягкое бета-излучение, а приемниками отраженного излучения служат ионизационные камеры, газоразрядные и сцинтиляционные счетчики.

Для обеспечения требуемой точности измерения с помощью радиоизотопных приборов необходимо, чтобы толщина подложки была больше толщины насыщения, а толщина пленки (покрытия) — меньше толщины насыщения, причем атомные номера материалов подложки и пленки должны отличаться друг от друга более чем на 2—4 единицы.

Преимущества радиоизотопных толщинометров: бесконтактность измерения, возможность измерения толщин большинства материалов на многих подложках, а также автоматического измерения. Диапазон измерения с помощью выпускаемых в СССР приборов составляет 0—100 мкм, при этом погрешность измерения составляет $\pm 10\%$.

К недостаткам этих приборов относятся: необходимость градуировки для каждой пары материалов (пленки и подложки), соблюдение особых мер предосторожности при работе с радиоактивными веществами.

Технические характеристики приборов, выпускаемых в СССР, даны в табл. 13.4.

3. ПОВЕРКА ТОЛЩИНОМЕТРОВ

Проверка толщинометров пленок должна производиться по образцовым мерам толщины пленок, представляющим собой плоские или

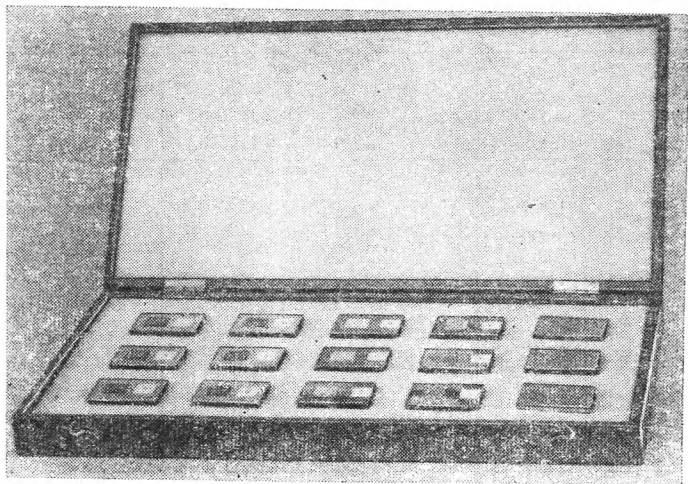


Рис. 13.5

цилиндрические детали на поверхности которых нанесены пленки определенных толщин в виде ступенек (рис. 13.5).

Толщина пленки образцовой меры аттестуется с помощью прямых методов измерения с погрешностью не более 1—2%.

4. ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ПЛЕНОК

Эти методы в последнее время получили широкое применение при нанесении тонких покрытий. Их можно применять при условии, что пленка обладает хорошими оптическими свойствами и нанесена на хорошо подготовленную поверхность подложки. При измерении толщины прозрачной пленки необходимо определить показатель преломления.

ТАБЛИЦА 13.5

Толщина воздушного зазора d_0 в зависимости от цвета пленки (окраски интерференционной картины)

d_0 в мм не более	Цвет пленки	
	в отраженном свете	в проходящем свете
100	Черный	Белый
124	Синевато-белый	Красно-коричневый
140	Бледно-соломенно-желтый	Темно-синий
164	Коричневато-желтый	Сине-зеленый
235	Оранжевый	Светло-синий насыщенный
257	Пурпурный	Бледно-зеленый
300	Небесно-синий	Золотисто-желтый
352	Небесно-синий насыщенный	Оранжевый
409	Желто-зеленый	Фиолетовый
465	Светло-оранжевый	Светло-синий
520	Пурпурный	Зеленый
570	Синий	Желтый
600	Морская зелень	Мясисто-красный
650	Зеленый	Пурпурный
720	Бледно-желтый	Серо-синий
780	Пурпурный	Желто-зеленый
852	Серо-синий	Матово-желтый
912	Серо-зеленый	Серо-красный
996	Серо-красный	Серо-зеленый
1264	Мясисто-красный	Морская зелень
1450	Сине-зеленый	Мясисто-красный

Оптические методы — это в основном лабораторные методы. Для измерений толщины пленок применяют следующие методы: поляризационный, метод определения толщины по цвету окраски пленки, интерференционный, светового сечения (см. гл. 12), теневого сечения.

Поляризационный метод заключается в том, что линейно поляризованный свет, падающий под косым углом на поверхность детали, покрытой пленкой, после отражения становится эллиптически поляризованным. По степени и роду поляризации можно судить о толщине измеряемого слоя. При измерении показателя преломления воздуха с погрешностью 1,5—2% погрешность определения толщины составляет 4—5%.

Метод определения толщины пленки по цветовой окраске состоит в том, что при направлении когерентных лучей на прозрачную пленку в ней будут наблюдаться полосы смешанной окраски, которая изменяется с изменением толщины пленки, показателя преломления и угла падения лучей. Толщина пленки определяется по формуле

$$h = \frac{d_0}{n},$$

где h — толщина пленки в мкм; d_0 — толщина воздушного зазора в мкм; n — показатель преломления пленки (по справочным данным).

Толщина воздушного зазора d_0 берется по табл. 13.5 в зависимости от цвета и окраски интерференционной картины. Этот метод субъективен и позволяет определять толщину с погрешностью более 10%.

С помощью микроинтерферометров для определения шероховатости поверхностей можно определить толщину прозрачной пленки от 0,03 до 2 мкм. Интерферометр с компенсатором А. И. Карташова позволяет расширить пределы измерения до 40 мкм. Погрешность определения толщины пленки составляет 10—30%.

5. ФИЗИЧЕСКИЕ РАЗРУШАЮЩИЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ПЛЕНОК (ПОКРЫТИЙ)

К указанным методам относятся металлографический (микроскопический) метод и метод хорды.

Металлографический метод основан на определении толщины покрытия на поперечном шлифе с помощью микроскопа с увеличением 20—1000 крат. Этот метод применяется для определения толщины однослойных и многослойных электролитических и анодированных покрытий. Этот метод применяется в основном в случаях арбитража.

Для измерения толщин пленок до 20 мкм рекомендуется пользоваться микроскопом с увеличением 500—1000 крат, а для толщин более 20 мкм с увеличением 200 крат. Для измерения толщины пленки изготовляют шлиф с поперечным разрезом в соответствии с ГОСТ 16875—71

(приложение 1). Полученный шлиф обезжиривают и в случае необходимости травят специальными растворами (ГОСТ 16875—71, приложение 2). Затем с помощью металлографического микроскопа определяют толщину пленки, производя не менее трех измерений по всей длине шлифа. Среднее арифметическое значение из трех измерений составит толщину пленки.

Сущность метода хорды состоит в том, что измеряемую деталь (рис. 13.6) надрезают шлифовальным кругом до появления подложки. Затем с помощью лупы или измерительного микроскопа измеряется ширина c среза. Толщина покрытия h определяется по формулам:

для плоской поверхности (рис. 13.6, а)

$$h = \frac{c^2}{8R};$$

для цилиндрической поверхности (рис. 13.6, б)

$$h = \frac{c^2}{8} \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2} \right),$$

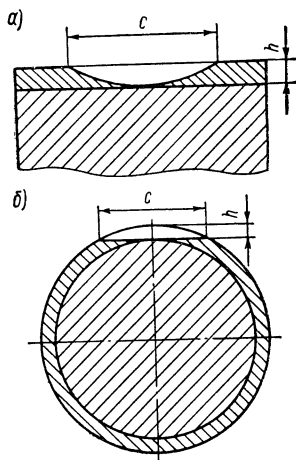


Рис. 13.6

где R_1 — радиус кривизны контролируемого участка детали; R_2 — радиус шлифовального круга.

Для выполнения среза рекомендуется применять шлифовальные круги с зернистостью не менее 60—80, диаметром 150—200 мм, шириной 4—12,5 мм.

Метод хорды следует применять в основном для контроля толщин пленок многослойных покрытий. Это — метод лабораторный.

6. ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

К химическим методам определения толщин пленок (ГОСТ 16875—71) относятся метод струи, капли или снятия слоя. Это — лабораторные методы. Сущность метода струи состоит в растворении пленки (покрытия) раствором, вытекающим на поверхность детали в виде струи с определенной скоростью. Толщина пленки рассчитывается по времени, затраченному на растворение покрытия (струйно-периодический метод) или по объему раствора, израсходованному на растворение покрытия (струйно-объемный метод). Окончание растворения пленки устанавливают визуально с помощью прибора, регистрирующего изменение потенциала или тока в момент полного растворения покрытия (электро-струйный метод).

Сущность метода капли состоит в том, что на поверхность пленки наносят капли раствора и выдерживают в течение определенного промежутка времени. Толщину пленки рассчитывают по числу капель, затраченных на растворение пленки.

Метод снятия слоя основан на растворении пленки в растворе, который действует на основной металл детали. Расчет толщины пленки производят по массе растворенного металла, которую определяют химическим анализом раствора или взвешиванием детали до и после растворения пленки.

Методы струи и капли применяют для измерения местной толщины однослойных и многослойных металлических пленок (цинковых, кадмиевых, медных, никелевых, хромовых, серебряных) на поверхностях, площадь которых не менее 0,3 см².

Метод капли не рекомендуется применять для пленок толщиной более 20 мкм. Метод снятия слоя применяют для измерения средней толщины однослойных и многослойных пленок малогабаритных деталей в основном в случаях арбитража.

Погрешность измерения толщины пленок от 2 мкм и выше:

Метод измерения	Погрешность в %
Струйно-периодический	± 10
Струйно-объемный	± 15
Метод капли	± 30
Метод снятия слоя	± 10

7. ВЕСОВОЙ МЕТОД

Весовой метод определения толщины пленки следует отнести к разрушающим методам. Для определения толщины пленки (покрытия) измеряемую деталь взвешивают до и после покрытия. По геометрическим размерам определяют площадь поверхности покрытия.

Толщину пленки h_{cp} в мкм рассчитывают по формуле

$$h_{cp} = \frac{(g_2 - g_1) 1000}{S \gamma},$$

где g_1 — масса детали до нанесения пленки (покрытия) в г; g_2 — масса детали после нанесения пленки (покрытия) в г; S — площадь поверхности (покрытия) в см²; γ — плотность материала пленки в г/см³.

Для определения массы применяют весы, имеющие погрешность не более ± 0,001 г. Это — метод лабораторный, позволяющий определить среднюю толщину пленки с погрешностью ± 10%.

Список литературы

1. Валитов А. М., Шилов Г. И. Приборы и методы контроля толщины покрытий. Справочное пособие. Л., «Машиностроение», 1970, 119 с.
2. Информационный листок № 650—71. — Образцовые меры толщины пленок. Ленинградский ЦНТИ.
3. Карташов А. И. Шероховатость поверхности и методы ее измерения. М., Стандартгиз, 1964, 163 с.
4. Метфессель С. Тонкие пленки, их изготовление и измерение. М.—Л., Госэнергоиздат, 1963, 272 с.
5. Справочник по производственному контролю в машиностроении. Изд. 2-е. Под общей редакцией А. К. Кутая. М.—Л., 1964, 742 с.

ГЛАВА ЧЕТЫРНАДЦАТАЯ

КОНТРОЛЬ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ДЕФЕКТОВ МЕТАЛЛОВ И ПЛАСТМАСС

1. МЕХАНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ МЕТАЛЛОВ

Классификация методов испытаний

Различают следующие виды испытаний механических свойств.

Статические испытания характеризуются плавным и медленным приложением нагрузки к испытуемому образцу, не вызывающим заметных величин ускорений движущихся частей испытательной машины и, следовательно, незначительными силами инерции, возникающими в них. Такой характер нагружения дает возможность измерять с достаточной точностью величину нагрузки, приложенной к образцу, а также величину деформации в любой момент испытания.

Динамические испытания характеризуются резким изменением величины усилий, действующих на образец, большой скоростью деформации образца и возникновением значительных сил инерции в частях образца и испытательной машины, передающих нагрузку на образец.

Обычные динамические испытания служат для определения вязкости или хрупкости материала и не дают представления о величине напряжений в образце.

Испытания на усталость или выносливость характеризуются многократными повторными или знакопеременными нагрузками, прилагаемыми к испытуемому образцу.

Разрушение металла под действием такого рода нагрузок происходит при напряжениях более низких, чем те, которые металл может выдержать без разрушения при статической нагрузке.

Испытания на твердость, как разновидность механического испытания, получили широкое распространение. Они заключаются в том, что в поверхность испытываемого тела внедряется другое, более твердое тело.

Испытания на износ и истирание заключаются в определении изменений механических свойств материалов на их поверхности после длительного воздействия сил трения, а также в установлении у образцов потери в весе. В последнее время такие испытания проводятся с помощью радиоактивных изотопов.

Технологические испытания применяются в том случае, если желают установить пригодность материала для того или иного технологического процесса, а также судить о некоторых свойствах материала, например пластичности.

Сравнимость полученных характеристик тем или иным методом испытания может быть достигнута лишь в том случае, если испытания проведены по единой методике, которая регламентируется ГОСТом.

Статические испытания на растяжение

Испытания на растяжение производят на специальных испытательных машинах [12], на которых образец круглого или прямоугольного сечения подвергается растяжению (рис. 14.1).

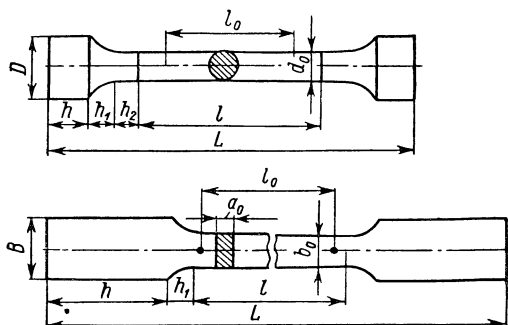


Рис. 14.1

Места вырезки заготовок для испытуемых образцов, количество и их ориентировка по продольной оси регламентируются в соответствующих стандартах и технических условиях.

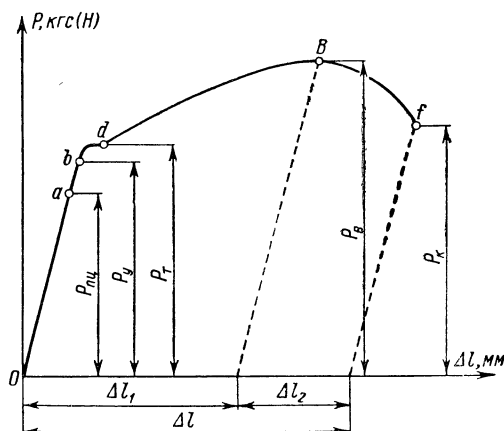


Рис. 14.2

При испытании листового или полосового металла применяются плоские образцы, поверхностный слой которых должен быть сохранен необработанным. При наличии полосового или листового металла толщиной 10 мм и более могут изготавливаться цилиндрические образцы.

В приложении к ГОСТ 1497—61 указаны рекомендуемые размеры и форма образцов (см. рис. 14.1).

Характеристики, определяемые при испытании на растяжение¹. В соответствии с ГОСТ 1497—61 скорость перемещения захвата машины независимо от длины образца устанавливается равной до появления предела текучести не более 0,1 мм/мин, за пределами текучести — не более 0,4 мм/мин.

Результаты испытания, показывающие зависимость между нагрузкой (P в кгс) и деформацией (Δl в мм), могут быть изображены на диаграмме растяжения (рис. 14.2). При этом можно установить:

- 1) величину нагрузки, которой подвергается образец, или напряжение, которое испытывает его материал при деформации;
- 2) величину абсолютных (в мм) или относительных (в %) упругих или пластических (остаточных) деформаций, которые претерпевает образец при растяжении.

Из диаграммы на рис. 14.2 следует, что до некоторой точки a зависимость между нагрузками и деформацией выражается прямой линией Oa , т. е. деформация пропорциональна нагрузке.

Напряжение $\sigma_{пц}$ в точке a , в которой начинаются отступления от этого закона, называется пределом пропорциональности (условным) и вычисляется по формуле

$$\sigma_{пц} = \frac{P_{пц}}{F_0},$$

где $P_{пц}$ — нагрузка при пределе пропорциональности; F_0 — начальная площадь поперечного сечения в рабочей части образца.

Более точное определение предела пропорциональности производится тензометрированием.

Дальнейшее повышение нагрузки вызывает на кривой незначительное отклонение от прямой до точки b , соответствующей нагрузке P_y , до которой при полном ее снятии образец не обнаружит остаточной деформации. Напряжение σ_y , вычисленное по формуле

$$\sigma_y = \frac{P_y}{F_0},$$

называется пределом упругости, определяемым с помощью тензометров. Определяется также $\sigma_{0,05}$ — условный предел упругости — напряжение, при котором абсолютное остаточное удлинение достигает 0,05% от расчетной длины образца.

Величины $\sigma_{пц}$, σ_y и $\sigma_{0,05}$ позволяют судить об упругих свойствах испытуемого металла.

При дальнейшем повышении нагрузки отмечается еще большее отклонение от прямой до точки d , соответствующей той предельной

¹ В соответствии с проектом ГОСТа «Единицы физических величин» в качестве единицы силы принят ньютон (Н), единицы давления и механического напряжения паскаль (Па).

При переводе единицы силы — килограмм-силы (кгс) в ньютон (Н) необходимо пользоваться соотношением 1 кгс = 9,80665 Н или приблизительно 1 кгс = 9,81 Н.

При переводе единицы механического напряжения — килограмм-силы на квадратный сантиметр (кгс/см²) или килограмм-силы на квадратный миллиметр (кгс/мм²) в паскаль (Па) необходимо пользоваться соотношением 1 кгс/см² = 9,80665 · 10³ Па и 1 кгс/мм² = 9,80665 · 10⁴ Па.

нагрузке P_T , после которой дальнейшего увеличения нагрузки не происходит, удлинение же продолжается, т. е. металл деформируется без повышения нагрузки.

Напряжение σ_T , вычисленное по формуле

$$\sigma_T = \frac{P_T}{F_0},$$

называется пределом текучести (физическим).

У многих металлов площадки текучести на кривой растяжения не обнаруживаются (рис. 14.3). В этом случае значение предела текучести (условного) вычисляется по формуле

$$\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0},$$

где $P_{0,2}$ — нагрузка в точке b (рис. 14.3), в которой остаточная деформация образца равна 0,2% его расчетной длины (отрезок Om).

При дальнейшем увеличении нагрузки кривая растяжения (рис. 14.2) плавно повышается до B , что соответствует наибольшему усилию P_B . Напряжение σ_B , вычисленное по формуле

$$\sigma_B = \frac{P_B}{F_0},$$

называется временным сопротивлением при растяжении.

Дальнейший ход кривой растяжения показывает, что металл продолжает удлиняться при уменьшающейся нагрузке, так как на образце возникает местное сужение площади поперечного сечения в виде шейки и в точке f (рис. 14.2) образец разрушается при нагрузке P_K меньшей, чем при временном сопротивлении.

Если нагрузку P_K отнести к площади поперечного сечения образца F_K в момент разрыва, то вычисленное напряжение

$$\sigma_K = \frac{P_K}{F_K},$$

называется истинным сопротивлением разрыву, которое всегда больше временного сопротивления.

Испытание на растяжение позволяет также выявить пластические свойства металла, т. е. его способность деформироваться. Остаточная деформация Δl образца складывается из равномерного удлинения образца по всей расчетной длине Δl_1 и Δl_2 , сосредоточенного в определенном объеме образца удлинения, т. е. в шейке (рис. 14.2).

Относительное остаточное удлинение после разрыва δ определяется по формуле

$$\delta = \frac{l_K - l_0}{l_0} 100 = \frac{\Delta l}{l_0} 100\%,$$

где l_0 — начальная расчетная длина образца; l_K — длина образца после разрыва.

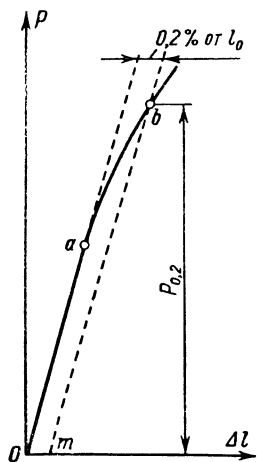


Рис. 14.3

Относительное остаточное сужение площади поперечного сечения ψ может быть вычислено по формуле

$$\psi = \frac{F_0 - F_k}{F_0} 100\%,$$

где F_0 — начальная площадь поперечного сечения образца; F_k — минимальная площадь поперечного сечения после разрыва.

При испытании плоского образца площадь поперечного сечения в месте разрыва вычисляют путем умножения наибольшей ширины образца b у места разрыва на наименьшую его толщину a (рис. 14.4); первоначальная ширина b_0 и толщина a_0 .

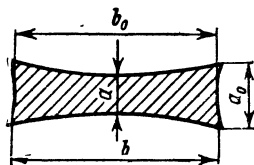


Рис. 14.4

Статические испытания на сжатие

Для испытания сталей применяются цилиндрические образцы, в которых $l_0 = d_0$ или $l_0 = 3d_0$. Для испытаний, при которых определяется модуль упругости, предел упругости или предел пропорциональности, применяются образцы с соотношением $l_0 = 8d_0$.

При испытании на сжатие чугуных образцов (по ГОСТ 2055—43) цилиндрические образцы изготавливаются в зависимости от толщины стенки отливки $\varnothing 10$ —25 мм при $l_0 = d_0$. Если же испытание чугуна производится с определением общих свойств, то соотношение длины к диаметру принимается равным $l_0 = 3d_0$.

Размеры образцов измеряются с погрешностью 0,01 мм.

Главным требованием, предъявляемым к образцу при испытании на сжатие, является взаимная параллельность опорных торцовых поверхностей, перпендикулярных оси образца. Скорость перемещения подвижной головки машины при испытании не должна превышать 2 мм/мин.

Испытуемый образец помещается между нижней и верхней опорами испытательной машины. Верхняя опора

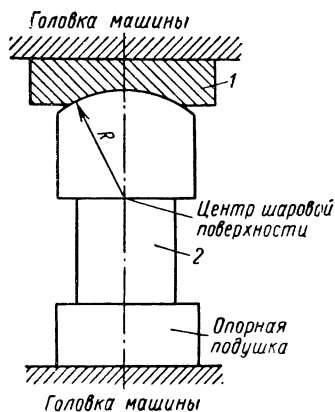


Рис. 14.5

ра 1 должна иметь шаровую поверхность, чтобы во время испытания направление действующей нагрузки было строго по оси образца 2 (рис. 14.5).

Во избежание эксцентриситета нагрузки необходимо, чтобы ось образца проходила через центр шаровой опоры, при этом отклонение оси от центра не должно превышать 0,25 мм.

Предел прочности при сжатии $\sigma_{сж}$ вычисляется по формуле

$$\sigma_{сж} = \frac{P_{\max}}{F_0},$$

где P_{\max} — наибольшая нагрузка; F_0 — площадь поперечного сечения образца до испытания.

Относительное укорочение образца при сжатии ε находят по формуле

$$\varepsilon = \frac{h_0 - h}{h_0} 100\%,$$

где h_0 — начальная высота; h — высота образца после сжатия.

Относительное утолщение сечения при сжатии ψ находят по формуле

$$\psi = \frac{F - F_0}{F_0} 100\%,$$

где F_0 — начальная площадь поперечного сечения; F — площадь поперечного сечения образца после сжатия.

Статические испытания на изгиб

Испытанию на статический изгиб подвергаются образцы из чугуна, а также различные детали машин. Испытания на изгиб применяются для упрощенной проверки пластичности, однородности и способности металла к холодной обработке давлением.

Стандартные образцы чугуна для испытания на изгиб (по ГОСТ 2055—43) при расстоянии между опорами в 600 мм имеют \varnothing 30 мм и длину 650 мм, при расстоянии между опорами в 300 мм соответственно \varnothing 30 мм и длину 340 мм. Отклонение по диаметру необработанного образца в любом сечении не должно превышать ± 1 мм. Результаты испытаний должны рассчитываться с учетом отклонений.

Образец, помещенный на двух опорах, нагружается посередине сосредоточенной нагрузкой вплоть до разрушения. При этом определяется требуемое для этого усилие и вычисляется предел прочности σ , а также измеряется специальным индикатором стрела прогиба f с погрешностью не более 0,1 мм.

Предел прочности при изгибе определяется по формуле

$$\sigma = \frac{M}{W_z} = \frac{Pl}{4W_z},$$

где M — изгибающий момент; W_z — осевой момент сопротивления; P — сосредоточенная нагрузка в момент излома; l — расстояние между опорами.

При испытании цилиндрических образцов предел прочности при изгибе равен

$$\sigma = \frac{8Pl}{\pi d^3},$$

где d — диаметр образца.

Если $\frac{8l}{\pi d^3}$ обозначить коэффициентом K , то $\sigma = KP$. Ряд значений коэффициента K указан в ГОСТ 2055—43¹.

¹ ГОСТ 2055—43. «Отливки из серого и ковкого чугуна. Методы механических испытаний».

Статические испытания на кручение

Испытанию (по ГОСТ 3565—58) подвергается нормальный образец $\varnothing 10$ мм и расчетной длиной 100 и 50 мм, имеющий головки, форма и размер которых определяются способом крепления в захватах испытательной машины. Разрешается испытывать образцы и изделия с размерами, пропорциональными нормальным, а также трубчатые и другой формы и размеров, что необходимо отражать в записи результатов испытаний.

На рабочей поверхности образца, параллельно его продольной оси, должна быть нанесена тонкая прямая линия с отметкой на ней расчетной длины.

Шероховатость поверхности стального образца с временным сопротивлением менее 160 кгс/мм² и цветных металлов должна быть не ниже $\nabla 7$ по ГОСТ 2789—59¹, а при испытании стали с σ_B , большим чем 160 кгс/мм², не ниже $\nabla 9$.

Для определения модуля сдвига, предела пропорциональности, предела упругости и предела текучести применяется зеркальный прибор Мартенса (для кручения) или другие типы тензометров с такой же степенью точности, а также электрические тензодатчики.

Условный предел прочности при кручении $\tau_{пч}$, при котором круглый образец разрушается, определяется по формуле

$$\tau_{пч} = \frac{M_K}{W_p} = \frac{16M_K}{\pi d^3},$$

где M_K — наибольший момент кручения, предшествующий разрушению; W_p — полярный момент сопротивления; d — диаметр образца.

Относительный сдвиг при кручении γ вычисляется по формуле

$$\gamma = \frac{(\varphi_1 - \varphi_2) d}{2l} \cdot 100\%,$$

где φ_1 и φ_2 — угловые показатели на концах расчетной длины в рад ($\varphi_1 > \varphi_2$, так как φ_1 находится у активной головки образца); d — диаметр рабочей части образца; l — расчетная длина образца.

Истинный предел прочности при кручении τ_K представляет наибольшее касательное напряжение, вычисленное по наибольшему скручивающему моменту, предшествовавшему разрушению образца; с учетом пластической деформации определяется по формуле

$$\tau_K = \frac{4}{\pi d^3} \left(3M_K + \theta \frac{dM}{d\theta} \right),$$

где d — диаметр образца; M_K — наибольший крутящий момент, предшествовавший разрушению образца; θ — удельный угол закручивания при разрушении образца в рад на 1 мм ($\theta = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{l}$); $\frac{dM}{d\theta}$ — величина, определяемая графически.

¹ Перевод $\nabla 7$ в численное значение R_a или R_z и новые обозначения шероховатости см. в главе двенадцатой.

Испытания на ударную вязкость

ГОСТ 9454—60 предусматривает основной образец типа I для испытания на ударную вязкость (рис. 14.6). Кроме этого образца, при наличии технических обоснований, по соглашению сторон, допускается применение образца типов II, III, IV и V.

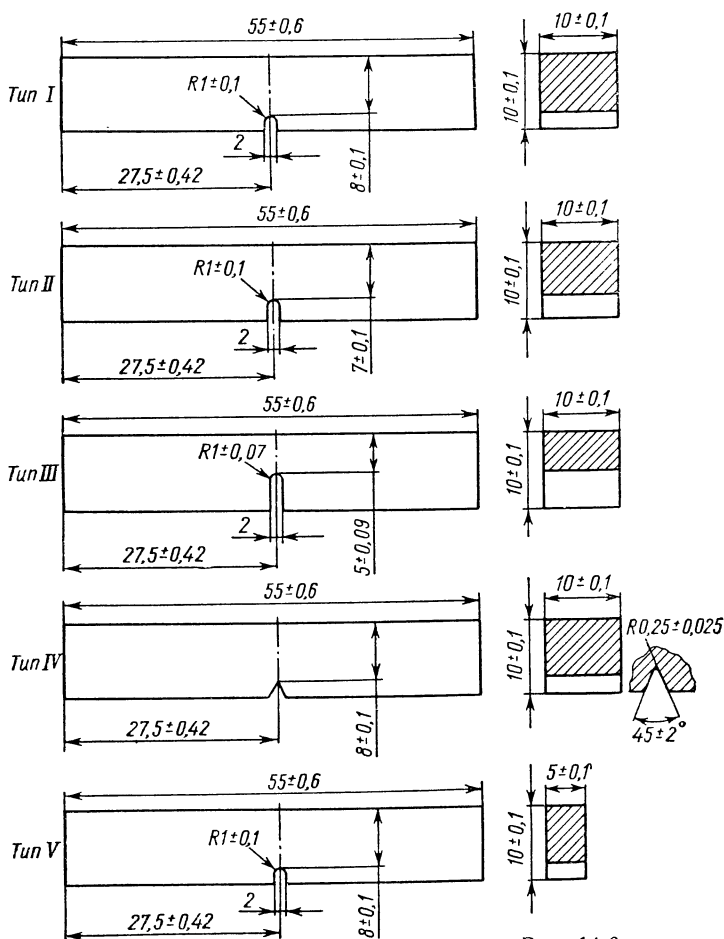


Рис. 14.6

Образец, свободно установленный на опоры копра (энергией не более 30 кгс·м), подвергается разрушению со стороны, противоположной месту надреза, за один удар тяжелого маятника.

Поглощенная при разрушении образца работа A_n определяется по шкале, градуированной в кгс·м или по углу взлета маятника, и вычисляется по формуле

$$A_n = Pl (\cos \beta - \cos \alpha),$$

где P — масса маятника копра в кгс; l — длина маятника (расстояние от его оси до центра тяжести) в м; α — угол первоначального подъема маятника (угол зарядки); β — угол подъема маятника после излома образца (угол взлета).

Удельная ударная вязкость a_n вычисляется по формуле

$$a_n = \frac{A_n}{F},$$

где A_n — работа, затраченная на излом образца; F — площадь поперечного сечения образца в месте надреза до испытания в см².

Величина A_n определяется с погрешностью 0,1 кгс·м. Вычисление a_n производится с округлением до 0,1 кгс·м/см².

Определение ударной вязкости при повышенной и пониженной температурах регламентируется ГОСТ 9456—60 и ГОСТ 9455—60 соответственно.

Испытания на усталость (выносливость)

Для определения предела усталости (выносливости) из испытуемого металла изготавливают специальные образцы в количестве 6—8 шт. Испытания осуществляются на специальных машинах, позволяющих производить (чаще всего) знакопеременные нагружения образца. Наиболее распространенный вид испытания — изгиб вращающегося образца при симметричном цикле нагружения.

Пределом усталости (выносливости) называют наибольшее напряжение, при котором образец не разрушается при заданном числе перемен нагрузки (числе циклов). Предел усталости для стали определяют на базе 5—10 млн. циклов (перемен). Для легких сплавов база испытания увеличивается до 20 млн. циклов.

Первый образец при испытании сталей нагружают до напряжения $0,6\sigma_B$, а легких сплавов до $0,4\sigma_B$. Последующие образцы подвергают испытанию при напряжении на 2 и 4 кгс/мм² ниже или выше в зависимости от числа циклов, вызвавших разрушение предыдущего образца. Разность между напряжениями двух последних образцов (разрушившегося и неразрушившегося) не должна превышать 2 кгс/мм².

Результаты испытаний наносятся на диаграмму, причем по оси ординат откладываются напряжения в кгс/мм², а по оси абсцисс — число циклов в обычной или логарифмической шкале. Предел усталости находят в точке перегиба логарифмической кривой диаграммы.

Использование неразрушившегося образца, прошедшего испытания, для нового испытания не допускается.

Предел усталости круглого гладкого образца σ_{-1} при симметричном цикле нагружений определяется по формуле

$$\sigma_{-1} = \frac{M}{W_p} = \frac{32Pl}{\pi d^3},$$

где M — изгибающий момент в опасном сечении образца в кгс·мм; W_p — полярный момент сопротивления сечения образца в мм³; P — нагрузка, приложенная к образцу, в кгс; l — плечо в мм; d — диаметр образца в мм.

Существует ускоренный метод определения предела усталости, который заключается в измерении температуры испытуемого образца при нарастающих напряжениях и числе циклов. Полученные данные наносят на диаграмму в системе координат: температура — напряжение. Начало отклонения кривой от прямолинейного участка указывает на напряжение, соответствующее пределу усталости.

Для определения предела усталости применяются образцы, форма и размеры которых в зависимости от типа машины предусмотрены ГОСТ 2860—65.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛОВ

Общие сведения

Под твердостью металла понимается сопротивление, оказываемое металлом внедрению в поверхность другого, более твердого тела определенной формы и размеров.

Числовые значения, получаемые при определении твердости разными методами, можно сравнивать лишь приблизительно. Поэтому для получения сравнимых результатов при определении твердости применяют стандартные наконечники, которые вдавливаются в испытуемый металл при определенных условиях проведения испытания.

Наиболее применимы стандартные методы определения твердости металла при статической нагрузке, т. е. плавно приложенном давлении.

Метод определения твердости стальным шариком (по Бринеллю)

Метод заключается во вдавливании на глубину t стального закаленного шарика определенного диаметра в испытуемый образец под действием заданной нагрузки в течение определенного времени (ГОСТ 9012—59).

Число твердости HB при этом методе определяется как среднее давление, выраженное в кгс на 1 мм^2 сферической поверхности отпечатка шарика (рис. 14.7), и вычисляется по формуле

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{P}{\pi D t},$$

где P — сила вдавливания в кгс, нормальная к поверхности AB и установленная в соответствии со стандартом; F — площадь шаровой поверхности отпечатка шарика в мм^2 .

Окончательно твердость HB может быть выражена следующей формулой:

$$HB = \frac{2P}{\pi D [D - \sqrt{D^2 - d^2}]},$$

где D — диаметр шарика в мм; P — нагрузка на шарик в кгс; d — диаметр отпечатка в мм.

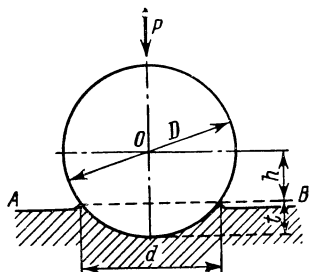


Рис. 14.7

На практике пользуются специальными таблицами, приложенными к ГОСТ 9012—59, где подсчитаны значения *HV* для отпечатков, имеющих различные диаметры и полученных при нормированных нагрузках, а также шариками различных диаметров. Указание на размерность *HV* опускается.

Испытание металлов твердостью выше *HV* 450 этим методом не производится, так как результаты испытания сильно искажаются.

Диаметр шарика, нагрузка и время выдержки под нагрузкой в зависимости от твердости и толщины испытуемого образца даны в табл. 14.1.

ТАБЛИЦА 14.1

Выбор диаметра шарика и нагрузки, продолжительности выдержки под нагрузкой в зависимости от твердости и толщины испытуемого образца (по ГОСТ 9012—59)

Материал	Интервал твердости в числах Бринеля	Минимальная толщина испытуемого образца в мм	Соотношение между нагрузкой и диаметром шарика	Диаметр шарика в мм	Нагрузка в кгс	Выдержка под нагрузкой в с
Черные металлы	140—450	От 6 до 3 » 4 » 2 Менее 2	$P = 30 D^2$	10,0 5,0 2,5	3000 750 187,5	10
	<140	Более 6 От 6 до 3 Менее 3	$P = 10 D^2$	10,0 5,0 2,5	1000 250 62,5	10
Цветные металлы	>130	От 6 до 3 » 4 » 2 Менее 2	$P = 30 D^2$	10,0 5,0 2,5	3000 750 187,5	30
	35—130	От 9 до 3 » 6 » 3 Менее 3	$P = 10 D^2$	10,0 5,0 2,5	1000 250 62,5	30
	8—35	Более 6 От 6 до 3 Менее 3	$P = 2,5 D^2$	10,0 5,0 2,5	250 62,6 15,6	60

Основные правила производства испытаний. Нагрузка должна быть приложена в направлении, перпендикулярном плоскости испытуемого образца.

Центр отпечатка должен находиться от края образца на расстоянии не менее 2,5 диаметра шарика, а от центра соседнего отпечатка

на расстоянии не менее диаметра шарика; для металлов с $HB < 35$ — на расстоянии соответственно 3 и 6 диаметров шарика.

Диаметр отпечатка измеряется в двух взаимно перпендикулярных направлениях и определяется как среднее арифметическое из двух измерений; разность измерений не должна превышать 2% от меньшего из них.

Диаметры получаемых при испытании отпечатков должны находиться в пределах между 0,2 и 0,6 диаметра шарика.

Метод определения твердости алмазным конусом (по Роквеллу)

Для определения твердости изделий из низкоотпущенной закаленной стали или твердых сплавов применяются конусные наконечники, изготовленные из алмаза (ГОСТ 9013—59). Алмазный конус с углом 120° имеет у вершины закругление радиусом $\rho = 0,200 \pm 0,005$ мм.

Определение твердости производится вдавливанием в испытуемый образец алмазного конуса под действием двух последовательно прилагаемых нагрузок — предварительной в 10 кгс и общей в 150 кгс.

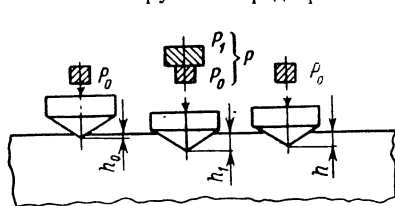


Рис. 14.8

Для испытания твердости мягких металлов по методу Роквелла вместо алмазного конуса применяется стальной закаленный шарик $\varnothing 1,588$ мм ($1/16$ "). Шарик вдавливается также под действием двух последовательно прилагаемых нагрузок — предварительной в 10 и общей в 100 кгс.

Испытуемый образец сначала получает предварительную нагрузку, равную 10 кгс, в результате чего наконечник (конус или шарик) вдавливается в испытуемый материал на незначительную глубину (рис. 14.8). Далее нагрузка увеличивается до величины P , которая равна сумме предварительной P_0 и основной P_1 нагрузок.

Общая нагрузка P равна 60 (шкала A), 100 (шкала B) или 150 (шкала C) кгс. Под действием общей нагрузки P наконечник вдавливается на глубину h_1 . Затем основная нагрузка (P_1) на испытуемый образец снимается, но остается предварительная (P_0). Глубина вдавливания h характеризует твердость испытуемого материала.

В зависимости от общей нагрузки P числа твердости по Роквеллу HR выражаются формулами:

при измерении по шкалам A и C

$$HR = 100 - e;$$

при измерении по шкале B

$$HR = 130 - e.$$

Величина e определяется по формуле

$$e = \frac{h - h_0}{0,002},$$

где h_0 — глубина внедрения наконечника (конуса или шарика) в испытуемый образец под действием предварительной нагрузки P_0 ; h — глубина внедрения наконечника (конуса или шарика) в испытуемый образец под действием общей нагрузки P , измеренная после снятия основной нагрузки P_1 с оставлением предварительной нагрузки P_0 (h и h_0 в мм); 0,002 — величина (в мм), принятая за единицу осевого перемещения наконечника и условно за единицу твердости.

Циферблат индикатора имеет две шкалы: черную — для испытаний с алмазным наконечником и красную — для испытаний с шариковым наконечником. Нулевое деление черной шкалы соответствует начальному положению стрелки, независимо от того, ведется ли испытание алмазом или шариком.

Число твердости обозначается через HR с добавлением соответственно шкалы A , B , C , по которой производилось испытание; например HRA — при испытании алмазным конусом с нагрузкой 60 кгс; HRB — при испытании шариком с нагрузкой 100 кгс; HRC — при испытании алмазным конусом с нагрузкой 150 кгс.

Пределы измерения твердости по указанным шкалам устанавливаются следующие:

Обозначения		Пределы измерения в единицах твердо- сти по Роквеллу	Соответствующие при- ближенные значения чисел твердости, изме- ренной алмазной пира- мидой по Виккерсу (HV)
Шкала	Число твердости		
B	HRB	25—100	60—228
C	HRC	20—67	228—900
A	HRA	70—85	390—1170

Метод определения твердости алмазной пирамидой (по Виккерсу)

При испытании твердости металлов по этому методу (ГОСТ 2999—59) в испытуемый образец вдавливаются правильная четырехгранная пирамида стандартного размера, имеющая квадратное основание и угол $136^\circ \pm 30'$ у вершины. Вдавливание производится под действием нагрузки в 5, 10, 20, 30, 50, 100 кгс. Иногда используют нестандартизованные, незначительно меньшие нагрузки.

Измерив отпечаток алмазной пирамиды по длине диагоналей квадрата, определяют число твердости

$$HV = 1,8544 \frac{P}{d^2} = \frac{2P \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2},$$

где P — величина нагрузки на пирамиду в кгс; d — среднее арифметическое обеих диагоналей отпечатка в мм; α — угол между противоположными гранями пирамиды при вершине, равный 136° .

Полученное число твердости HV обозначается с индексами нагрузки. Например, $HV 10/30-500$ означает число твердости (500),

полученное при испытании нагрузкой $P = 10$ кгс, приложенной в течение 30 с.

Числа твердости HV практически совпадают с числами твердости HB по Бринеллю до значений 450 кгс/мм².

Метод применяется для испытания твердости как мягких, так и твердых металлов толщиной до десятых долей миллиметра.

Согласно ГОСТ 2999—59 толщина испытываемого образца должна быть не менее чем в 1,5 раза больше длины диагонали отпечатка для цветных металлов и в 1,2 раза для стальных изделий. На обратной стороне испытываемого образца после измерения твердости не должно быть заметно следов деформации.

Рекомендуется работать с нагрузками, при которых диагональ отпечатка не менее 0,1 мм, так как иначе погрешность измерения резко возрастает.

При измерении твердости цементированных или других слоев металла нагрузка должна быть тем меньше, чем тоньше слой. Если толщина испытываемого слоя неизвестна, то рекомендуется произвести несколько измерений при различных нагрузках, например при $P = 10$; 20; 30 и 50 кгс. Если основная масса (сердцевина) образца не влияет на результаты измерений, то полученные при различных нагрузках твердости совпадут или будут близки друг к другу.

Если числа твердости при возрастании нагрузки будут уменьшаться или увеличиваться, необходимо применить меньшие нагрузки до тех пор, пока две смежные нагрузки не дадут совпадающих или близких друг к другу результатов.

Расстояние между центром отпечатка и краем образца или краем соседнего отпечатка должно быть не менее 2,5 длин диагонали отпечатка.

Разность диагоналей одного отпечатка не должна превышать 2% от меньшей из них.

Определение микротвердости

При определении твердости мелких деталей, тонких металлических лент, проволоки, отдельных структурных составляющих сплавов, тонких поверхностных слоев, получаемых при азотировании или цианировании, слоев гальванических покрытий и т. п. устанавливают твердость небольших объемов, т. е. микротвердость (ГОСТ 9450—60). Для этого в испытываемый образец, установленный под микроскопом (с увеличением до $500\times$), вдавливаются алмазная пирамида с квадратным основанием. Нагрузка при вдавливании может колебаться в пределах 0,005—0,5 кгс. Число твердости определяется по той же формуле, что и при испытании твердости алмазной пирамидой по Виккерсу.

Расстояние от центра отпечатка до края образца должно быть не менее $2d$, а толщина испытываемого образца не менее $1,5d$ (d — длина диагонали отпечатка). Расстояние от центра отпечатка до края соседнего отпечатка должно быть не менее $2d$.

Выбор нагрузки в случае однородного испытываемого материала производят исходя из длины диагонали отпечатка, которая должна быть не более двух третей длины образца или слоя.

Нагрузка в случае структурно неоднородного материала назначается в зависимости от цели испытания. Если необходимо дать оценку средней твердости материала, то размер диагонали отпечатка должен

быть существенно большим, чем размеры структурных элементов. Правильно выбранная нагрузка будет давать в разных местах испытания материала, имеющего одинаковую степень неоднородности, одинаковые результаты.

Если целью испытания является оценка твердости отдельного структурного элемента, то размер диагонали отпечатка должен быть достаточно мал по сравнению с испытуемым кристаллитом.

Числа твердости, полученные при испытании с определенной нагрузкой, сопровождаются символом H с указанием в индексе величины нагрузки в грамм-силах. Например: $H_{50} = 220$ кгс/мм².

В приложении к ГОСТ 9450—60 приведены числа твердости, в зависимости от выбранных нагрузок.

3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ

Основные виды технологических испытаний: испытание на загиб, на осадку, на расплющивание, на перегиб и на выдавливание.

Испытание на загиб осуществляют в соответствии с ГОСТ 14019—68 в холодном и горячем состояниях. Различают три вида загиба: загиб до определенного угла; загиб вокруг оправки до параллельности сторон; загиб вплотную, т. е. до соприкосновения сторон образца вплотную. Тот или иной вид загиба оговаривается в технических условиях.

Для производства испытания на загиб применяются прессы, специальные машины, тиски с закругленными губками и т. п., причем обязательным условием является плавность возрастания прилагаемой нагрузки.

Проба на незакаливаемость загибом производится в соответствии с ГОСТ 14019—68, а проба на свариваемость загибом — по ОСТ 1685. Признаком того, что образец выдержал испытания, является отсутствие на нем после загиба трещин, надрывов, расслоений или излома.

Испытание на осадку (ГОСТ 8817—58) применяется при испытании прутков и проволоки, используемых для изготовления болтов, заклепок и других крепежных изделий. Испытание материала производится в холодном или горячем состоянии под прессом механическим или пневматическим методом, ручным молотком, а также кувалдой для образца диаметром 10 мм и менее. Для образцов алюминиевых сплавов осадка осуществляется только под прессом до $1/2$ диаметра образца.

Рекомендуемые величины деформации для стальных образцов: 50, 65 и 75%. Относительную деформацию (x) в процентах определяют по формуле

$$x = \frac{h - h_1}{h} 100,$$

где h и h_1 — высота до и после осадки в мм.

Проба на расплющивание по ГОСТ 8818—58 применяется для установления способности металла в холодном или горячем состоянии расплющиваться без повреждений под ударами молота при заданных условиях. Такому испытанию могут быть подвергнуты полосовой, листовой и прутковый (заклепочный) материалы.

Проба на перегиб проволоки и прутков круглого сечения (ГОСТ 1579—63) применяется для определения качества

металла по свойству образца выдерживать без повреждения заданное число повторных загибов попеременно в противоположные стороны. Этому испытанию подвергаются холоднотянутая и горячекатаная проволока (или прутки) $\varnothing 0,8-7$ мм; длина образца берется равной 100—150 мм.

Проба на выдавливание позволяет определять качество листового материала по его свойству выдерживать без трещин образование выпуклости специальным штампом при заданных условиях. По результатам испытания можно судить о пригодности материала для вытяжной штамповки.

Испытание на выдавливание заключается в том, что материал закладывается между пуансоном и матрицей прибора и подвергается продавливанию до появления трещин на лунке, обнаруживаемых при помощи зеркала. Глубина лунки или величина перемещения пуансона характеризует степень пригодности материала для штамповки.

Существуют также технологические пробы на раздачу труб (ГОСТ 8694—58), бортование (ГОСТ 8693—58), сплющивание труб (ГОСТ 8695—58), а также проба на навивание проволоки (ГОСТ 10447—63), проба на двойной кровельный замок (ГОСТ 13814—68) и др.

4. ИСПЫТАНИЯ ПРУЖИН

По воздействию внешних сил различают пружины, работающие при приложении статической или динамической нагрузки, или при приложении циклической нагрузки той или иной частоты.

Важнейшее требование, предъявляемое к материалу пружин, — высокое значение предела упругости и сопротивление усталости, т. е. способность материала к сопротивлению циклическим напряжениям.

Факторы, снижающие предел усталости (поверхностные дефекты, ржавление, воздействие поверхностного трения и т. д.), уменьшают также срок работы пружин. Ударные испытания материала пружин не показательны; рациональнее производить испытания готовых пружин.

Весьма важным является фактор неизменяемости упругости материала пружин с течением времени, связанный с процессом релаксации (ослабления) под длительным воздействием напряжений, вследствие чего упругие деформации частично переходят в деформации пластические и наблюдается изменение длины пружины. Для сведения процесса релаксации к минимуму пружины после закалки подвергаются в процессе отпуска одновременно воздействию напряжения.

Цилиндрические пружины подвергаются в соответствии с ГОСТ 1452—69 (пружины цилиндрические винтовые ударно-тяговых приборов и тележек подвижного состава железных дорог), ГОСТ 8578—57 (пружины клапанные автомобильного и тракторного двигателей), ГОСТ 8244—65 (пружины цилиндрические винтовые механизмов натяжения гусеничных цепей тракторов) разным видам контроля.

На заводе-поставщике все пружины подвергаются внешнему осмотру, измерению размеров, испытанию на твердость и остаточную деформацию, определению стрелы прогиба и испытанию на усталость. Качество поверхности готовых пружин должно соответствовать требованиям, предъявляемым к поверхностям поставляемого металла для пружин. Состояние поверхностей пружин должно удовлетворять требованиям ГОСТ 9389—60, ГОСТ 1071—67 и ГОСТ 14963—69.

Внешнему осмотру и другим видам упомянутых испытаний могут быть подвергнуты пружины и на заводе-заказчике в количестве не менее 3% пружин от партии.

При измерении размеров пружин проверяют высоту в свободном состоянии, наружный или внутренний диаметр, общее число витков, разность между максимальным и минимальным шагами, зазоры между концами опорных витков и рабочими витками и перпендикулярность опорных поверхностей к оси пружины.

Пружины по ГОСТ 8578—57 при обжатии до высоты $H_{\text{кон}}$ не должны иметь остаточной деформации, определяемой как разность между высотами пружины в свободном состоянии до и после обжатия до высоты $H_{\text{кон}}$. Высота пружины $H_{\text{нач}}$, равная высоте при закрытом клапане, и высота пружины $H_{\text{кон}}$, равная высоте при открытом клапане, а также соответствующие данным высотам нагрузки P_1 и P_2 указываются на чертежах пружин. Отклонения нагрузок P_1 и P_2 на готовых пружинах от номинальных (расчетных) не должны превышать $\pm 6\%$ для пружин автомобильных двигателей и $\pm 8\%$ для пружин тракторных двигателей.

Твердость термически обработанных пружин должна быть в пределах $HV\ 370—440$ и $HRC\ 40—47$. Определение твердости производят на поверхности опорных витков пружин в месте, указанном на чертеже, с помощью методов испытания согласно ГОСТ 9013—59.

В соответствии с требованием ГОСТ 1452—69 пружины периодически проверяются на выносливость. Режим испытания устанавливается исходя из условий эксплуатации пружин.

Готовые пружины, поставляемые по ГОСТ 8578—57, должны выдерживать непрерывную циклическую нагрузку от $H_{\text{нач}}$ до $H_{\text{кон}}$: в течение не менее 2000 ч — пружины автомобильных двигателей, 300 ч — пружины тракторных двигателей.

П р у ж и н ы т а р е л ь ч а т ы е (ГОСТ 3057—54) разделяются на два типа: тип Н — пружины нормальной точности, получаемые штамповкой без механической обработки поверхности обреза; тип П — пружины повышенной точности, у которых поверхности обреза, получаемые после штамповки, механически обрабатываются.

Кроме того, пружины разделяются на следующие:

а) пружины большой жесткости $\left(\frac{f_m}{s} \leq 0,6\right)$, где f_m — высота внутреннего конуса, представляющая разность между высотой в свободном состоянии и толщиной пружины; s — толщина пружины;

б) пружины малой жесткости $\left(0,6 < \frac{f_m}{s} \leq 1,5\right)$.

По условиям работы различают пружины статического действия типа С; пружины динамического действия типа Д; пружины многократного действия типа М.

Выполнение конических поверхностей пружин вытачиванием из круглого проката не допускается.

Все пружины независимо от назначения и точности изготовления должны подвергаться статическим испытаниям сжатием при прогибе $f = f_m$ продолжительностью не менее 12 ч. После разгрузки пружина не должна иметь трещин и надрывов.

Пружины динамического действия должны выдерживать не менее 10 ударов свободно падающего груза, вызывающего прогиб пружины до величины $f = 0,8f_m$. Вес и высота падающего груза определяются расчетом.

Пружины многократного действия при испытаниях многократным нагружением до величины прогиба $f = 0,8f_m$ должны выдерживать не менее 150 циклов с расчетом 30—40 циклов в минуту.

При указанных выше испытаниях предварительный статический прогиб пружин должен составлять $0,3f_m$.

Пружины проверяются на наибольшее рабочее усилие P_2 и прогиб f_2 при этом усилии.

Усилие P_2 при прогибе $f = 0,8f_m$ является предельным рабочим для пружин типа С и испытательным для пружин типов Д и М при динамических испытаниях.

Усилие P_2 при прогибе $f = 0,65f_m$ является предельным рабочим для типов пружин Д и М и обычным рабочим для пружин С.

Длительному статическому испытанию и испытанию под копром или многократным нагружением пружины могут подвергаться как поштучно, так и в комплекте, причем количество пружин в комплекте должно быть указано на чертеже пружины. В последнем случае пружины надеваются на гладкий стержень, диаметр которого меньше номинального внутреннего диаметра на 2—3%.

П р у ж и н ы с п и р а л ь н ы е (ГОСТ 9233—69) проверяются на проекторе по шаблону, вычерченному с увеличением не менее $50\times$. Допускаемые отклонения от формы указываются на чертеже.

Величина упругого последействия, т. е. невозвращения пружин в свое первоначальное положение после закручивания, должна определяться с помощью приборов или устройств с погрешностью измерения не более 0,05 углового градуса.

Измерение упругого последействия производится с соблюдением следующих условий:

- а) угол закручивания пружины должен быть 360° ;
- б) в закрученном положении пружина должна выдерживаться в течение 1 ч;
- в) величина упругого последействия должна быть зафиксирована немедленно после раскручивания пружины.

5. КОНТРОЛЬ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЛАСТМАСС

Контроль механических свойств пластмасс регламентируется соответствующими стандартами. Общие требования к аппаратуре, образцам, методике испытаний и подсчету результатов испытаний установлены ГОСТ 14359—69. Изготовление образцов для испытания из термопластов и реактопластов должно удовлетворять требованию ГОСТ 12019—66 и ГОСТ 12015—66 соответственно. Условия кондиционирования образцов изложены в ГОСТ 12423—66.

При контроле механических свойств пластмасс наиболее часто определяют твердость, предел прочности при растяжении, предел прочности при сжатии и статическом изгибе, удельную ударную вязкость, модуль упругости при растяжении и изгибе. Твердость определяют согласно требованиям ГОСТ 4670—67, причем пользуясь результатами измерений, кроме числа твердости HV (в кгс/мм²), можно вычислить числа упругости U и пластичности P (в %). Метод испытания пластмасс на растяжение регламентируется требованиями ГОСТ 11262—68, где, кроме общих условий испытания, приводятся пять типов образцов и случаи их применения.

В результате испытания получают следующие характеристики: разрушающее напряжение при растяжении (σ_p) и предел текучести при растяжении ($\sigma_{тр}$), относительное удлинение при разрыве (ϵ_p), относительное удлинение, соответствующее пределу текучести ($\epsilon_{тр}$) в процентах, несущую способность P и удельную несущую способность P_c в кгс/см.

Правила испытания на сжатие изложены в ГОСТ 4651—68. Основными характеристиками, определяемыми при этом виде испытаний, являются разрушающее напряжение при сжатии $\sigma_{рс}$, предел текучести при сжатии $\sigma_{тс}$, условный предел текучести $\sigma_{утс}$, напряжение при заданной относительной деформации сжатия $\sigma_{зв}$, имеющие размерность кгс/см², и относительная деформация сжатия при разрушении $\epsilon_{рс}$ и при пределе текучести $\epsilon_{тс}$, выражаемые в процентах. Требования к испытанию на статический изгиб указаны в ГОСТ 4648—71. В результате испытания определяется характеристика, называемая пределом прочности образца при статическом изгибе $\sigma_{и}$.

Испытания на двухопорный ударный изгиб производятся согласно требованиям ГОСТ 4647—69. В результате испытаний определяют: ударную вязкость образца без надреза (a_n); ударную вязкость образца с надрезом (a_k); коэффициент ослабления показателя ударной вязкости K_z в процентах. В тех случаях, когда по условиям изготовления образцов невозможно проводить испытания по ГОСТ 4647—69, рекомендуется использовать ГОСТ 14235—69.

Определение модуля упругости при растяжении и изгибе осуществляются в соответствии с требованиями ГОСТ 9550—71, где приводятся форма и размеры образцов, правила и условия их подготовки и методика проведения испытаний. В результате испытаний определяются модуль упругости E и среднее квадратическое отклонение результатов определения модуля упругости σ как для модуля, определяемого при деформации растяжения, так и при деформации изгиба; там же приводятся требования для оформления протокола результатов испытаний.

Кроме приведенных здесь методов определения характеристик механической прочности пластмасс, существуют весьма разнообразные методы определения физических и химических свойств пластмасс: теплостойкости, жаростойкости, водопоглощения, удельного электросопротивления, коэффициента линейного расширения и пр.

6. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Такой контроль имеет целью выявление наружных, внутренних и сквозных дефектов.

Контроль наружных дефектов осуществляется внешним осмотром, красками и люминофорами и магнитно-порошковым методом.

Внешний осмотр применяется для всех свариваемых металлов и сплавов (причем толщина свариваемых материалов не ограничивается). Допускается применение оптических приборов с увеличением не более 10 крат.

Краски и люминофоры используются при контроле сталей аустенитного класса, а также титана и его сплавов.

Магнитно-порошковый метод применяется при контроле сталей ферритного класса для стыковых соединений при толщине свариваемых материалов не более 8 мм.

Контроль внутренних дефектов может осуществляться различными методами технологической пробы, исследованием микроструктуры сварного соединения, просвечиванием проникающими излучениями (при толщине материала не более 100 мм), методом ультразвуковой дефектоскопии, применяемым для малоуглеродистых и низколегированных сталей, меди, алюминия и сплавов на их основе при толщине материалов не менее 6 мм. Для исследования стыковых сварных соединений из сталей ферритного класса применяют магнитно-порошковый метод (толщина свариваемых материалов не более 8 мм), магнитно-индукционный (толщина свариваемых материалов не более 20 мм) и магнитно-графический (толщина свариваемых материалов не более 16 мм).

Контроль вскрытием может применяться для всех типов сварного соединения, для любых металлов и сплавов, без ограничения размеров сварного изделия.

Контроль сквозных дефектов включает восемь методов: метод смачиванием керосином и обдув сжатым воздухом, применяемые при толщине свариваемых материалов не более 10 мм; контроль воздушным давлением, гидравлическим давлением и аммиаком, применяемые для сталей без ограничения размеров изделий; контроль наливом воды и поливом водой (толщина свариваемых материалов не более 10 мм) и метод испытания теческательями применяется для всех свариваемых материалов и сплавов.

Области применения всех приведенных здесь методов контроля сварных соединений, а также размеры и расположение дефекта указаны в ГОСТ 3242—69.

Контроль качества швов сварных соединений смачиванием керосином, гидравлическим давлением и поливом водой производят соответственно ГОСТ 3285—65, ГОСТ 1999—60 и ГОСТ 3845—65. Контроль остальными методами до разработки соответствующих стандартов следует проводить по техническим условиям, утвержденным в установленном порядке.

ГОСТ 3242—69 допускает применение и других методов по соответствующим техническим условиям при условии проведения качественного контроля. Методы определения механических свойств сварных соединений регламентируются ГОСТ 6996—66, где приводятся виды испытаний, правила отбора образцов, условия проведения испытаний и оценка их результатов, типы и размеры образцов и указания по их вырезке.

Наряду с приведенными выше методами контроля качества сварных соединений, как и различных металлических изделий, а также заготовок, в промышленности широко распространены электромагнитные методы контроля. В основе значительного количества типов дефектоскопов заложен принцип использования ихревых токов. Такого рода прибор, известный под названием «дефектоскоп системы Хренова и Назарова» появился в промышленности в 1940 г. и был предназначен для контроля качества сварных швов. В дальнейшем появился ряд приборов как отечественных, так и зарубежных, основанных на том же принципе использования вихревых токов. Сущность метода заключается в следующем. На контролируемый участок устана

вливается намагничивающее устройство, создающее в металле переманное магнитное поле. Последнее возбуждает вихревые токи. Магнитное поле вихревых токов вызывает в индикаторной катушке элек

тродвижущую силу, подаваемую на зажимы измерительного прибора. Величина возникшей электродвижущей силы зависит от магнитного потока вихревых токов. Всякое изменение структуры металла, а также наличие каких-либо внутренних дефектов влечет за собой изменение электросопротивления, а следовательно, и изменение силы тока. Таким образом, следя за показаниями индикаторного прибора, можно устанавливать места залегающих дефектов или изменений структуры металла.

В некоторых типах приборов приемная катушка совмещена с намагничивающей. В этом случае подаваемое и возбуждаемое напряжения обычно сдвинуты по фазе. Контроль проводится путем перемещения намагничивающего устройства и «искателя» по поверхности изделия.

При производстве контроля деталей из ферромагнитных сплавов степень глубины обнаруживаемых дефектов зависит от частоты намагничивающего тока. Это обуславливается явлением скинэффекта, т. е. вытеснением тока ближе к поверхности металла. Чем выше частота тока, тем на меньшей глубине могут быть обнаружены дефекты. Для обнаружения более глубоко заложенных дефектов необходимо увеличивать силу намагничивающего тока, стремясь к доведению контролируемого участка до магнитного насыщения, при котором относительная магнитная проницаемость становится близкой к единице.

На рассмотренном принципе основано устройство приборов, применяемых для определения потерь энергии в электротехнических системах, обуславливаемых вихревыми токами.

Одним из электромагнитных методов контроля является дифференциальный метод, применяемый при контроле качества однородных деталей сравнением их со стандартным образцом. При этом могут быть обнаружены не только внутренние дефекты, но и проконтролирована степень однородности термической обработки, химического состава и т. п.

Прибор для контроля включает: генератор переменного тока, индикаторный прибор и две одинаковые катушки с двумя обмотками каждая. В качестве индикаторного прибора обычно применяют электронный осциллограф. Соединенные последовательно первичные обмотки катушек питают переменным током от генератора. Зажимы вторичных обмоток подключаются к взаимно перпендикулярным отклоняющим пластинам осциллографа, или включенные навстречу друг другу зажимы подключаются к милливольтметру. В одну из катушек помещают стандартный образец, а в другую — контролируемую деталь. При соответствии структуры детали и ее химического состава, а также при ее однородности магнитные поля обеих катушек, так же как и скорости их изменения, будут одинаковы. В результате сложения двух взаимно перпендикулярных колебаний (сдвиг фаз устанавливается в 90°) на экране осциллографа появляется фигура Лиссажу (при равенстве частот и амплитуд это будет окружность). Милливольтметр не будет давать показаний.

Если в контролируемой детали имеются какие-либо дефекты или отклонения по обработке или химическому составу от стандартного образца, то вторичные электродвижущие силы будут разные. При этом в приборах с милливольтметром появится отклонение стрелки, а в приборах с осциллографом фигура Лиссажу станет другой. В случаях производства массового контроля производится зарисовка фигур Лиссажу, получаемых при наличии в контролируемой детали тех или иных

отклонений качества, структуры или состава от стандартных. На основе появляющихся фигур можно устанавливать характер обнаруженных дефектов при производстве контроля деталей [2, 7, 10].

7. ВЫЯВЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ МЕТАЛЛОВ¹

Общие сведения

Поверхностные дефекты изделий могут быть выявлены непосредственным наблюдением или применением специальных приборов и приемов.

Непосредственным наблюдением можно обнаружить только относительно грубые внешние дефекты на поверхности детали. Мелкие дефекты можно выявить с помощью оптических приборов — лупы, микроскопа. Лупы могут обеспечить удовлетворительное качество изображения — простые при увеличении не выше 6 крат, а сложные — до 40 крат.

Для улучшения видимости дефектов на поверхности часто применяются травление и обработка порошками. В первом случае улучшение видимости достигается более сильной растворимостью дефекта или основного металла. Описание подобных приемов подробно излагается в курсах металловедения.

Обработка порошками улучшает видимость за счет расположения зерен порошка по границе дефекта. Если исследуемую деталь погрузить в жидкость (различные масла) или нанести жидкость на поверхность детали кистью, то жидкость проникает в полости дефектов и не будет удалена после протирания поверхности детали. Порошок (различные карбонаты), нанесенный на поверхность обработанной таким образом детали, смачивается жидкостью и удерживается по границам дефекта. Часто, однако, видимость порошка оказывается недостаточной при рассмотрении невооруженным глазом. В этом случае целесообразно применять люминесцирующую жидкость.

Определение поверхностных дефектов с применением проникающих жидкостей

Применение метода проникающих жидкостей позволяет расширить визуальный контроль. Он применяется как при контроле качества магнитных, так и немагнитных материалов. Применение этого метода расширяет возможность выявления поверхностных дефектов, повышая степень чувствительности. Основными достоинствами метода являются: простота, дешевизна, надежность и быстрота контроля. Что касается размеров дефектов, то о них можно судить лишь приблизительно. Метод применим при обнаружении трещин в сварных швах, усадочных трещин, волосовин, пор, разрывов и т. п.

Наиболее распространен метод керосиновой пробы. Для повышения проникающей способности керосина его подогревают. После нанесения керосина на поверхность контролируемой детали ее тщательно промывают и просушивают. На поверхность детали наносят слой мела. Вследствие капиллярности керосин, проникший через дефекты на поверхность детали, пропитывает мел, образуя темные узоры. При про-

¹ Подготовка материала п. 7, а также п. 8 для 3-го издания Справочника выполнена при участии доц. В. И. Луценко.

изводстве контроля оказывается возможным выявлять трещины, ширина которых более 0,02—0,05 мм. Степень чувствительности данного метода можно повысить, применяя вместо керосина какую-либо более проникающую жидкость. Часто используют смесь минерального масла, олеиновой кислоты и ализаринового красителя. Смесь рекомендуется подогревать. Применяется также спиртовой раствор талька.

Порядок проведения контроля методом проникающих жидкостей следующий: зачищают поверхность контролируемой детали и погружают деталь в проникающую жидкость; затем тщательно промывают поверхность детали и наносят на поверхность слой проявителя; после этого рассматривают картину выявленных поверхностных дефектов.

Цветной метод

Контролируемая деталь погружается в раствор на 5—10 мин или закрашивается кистью раствором следующего состава (по объему в %):

Керосин	65
Трансформаторное масло	30
Скипидар	5

Для окрашивания к растворам прибавляют до насыщения краситель: судан III, судан II, судан I или жировой оранж.

После покрытия деталь тщательно промывают холодной водой, затем ее покрывают тонким слоем водного раствора каолина и подсушивают в струе теплого воздуха. Подсушенный белый слой впитывает окрашенный раствор, оставшийся в местах трещин или других дефектов, вследствие чего на поверхности получается ярко окрашенный узор.

Изображение расположения дефектов на детали можно получить в виде отпечатка на бумаге, не прибегая к фотографированию объекта, если после промывки контролируемого изделия, обработанного цветным раствором, плотно наложить на деталь влажный лист чертежной бумаги, а деталь слегка подогреть, чтобы раствор выступил из трещин. Этот метод применяется при выявлении дефектов на поверхностях крупных и мелких деталей.

Люминесцентный метод

Подготовка поверхности деталей для выявления поверхностных дефектов люминесцентным методом заключается в очищении от масла, для чего детали погружают в бензиновую ванну, а детали крупного размера тщательно протирают бензином. При наличии на детали окалина ее предварительно удаляют пескоструйной обработкой, так как окалина гасит флюоресценцию¹ красителя и мешает обнаружению дефектов.

На детали наносят кистью флюоресцирующий раствор или погружают их в ванну с раствором, а затем выдерживают в течение 10—15 мин на воздухе, чтобы раствор мог заполнить все дефекты на поверхности, включая микротрещины.

Расход раствора составляет около 0,01 л на 1 м² поверхности изделия. Для лучшего проникновения раствора в глубь трещин детали его подогревают до температуры 50—60°С перед погружением в холодный флюоресцирующий раствор.

¹ Флюоресценцией называется свойство некоторых веществ светиться при облучении ультрафиолетовыми лучами.

Рекомендуются следующие составы флюоресцирующих растворов:

Первый раствор

Керосин	50%
Бензин	25%
Светлое минеральное масло (вазелиновое, трансформаторное, велосипедное и т. д.)	25%
Флюоресцирующий краситель-дефектоль зелено-золотистый	0,02—0,03%

Зелено-золотистый дефектоль растворяют в бензине, затем доливают керосин и после этого масло. Если часть красителя осталась нерастворенной, то раствор фильтруют.

Под действием ультрафиолетовых лучей флюоресцирующий раствор светится желто-зеленоватым светом с голубым оттенком. Когда минеральное масло загрязнено, свечение раствора становится более голубым, что влияет на чувствительность метода, так как такое свечение слабее выделяется на фиолетовом фоне детали.

Второй раствор

Керосин или лигроин	75%
Нириол	25—35%
Поверхностно-активные вещества ОП-7 или ОП-10	0,5%

Нириол дает желто-зеленое свечение при облучении ультрафиолетовым светом. Для лучшего удаления флюоресцирующего раствора с поверхности деталей рекомендуется добавлять смесь поверхностно-активных веществ ОП-7 и ОП-10. Затем поверхность промывают сильной струей холодной воды, просушивают и припудривают тонким порошком: сухим силикагелем, окисью магния или углекислым магнием. Избыточное количество порошка после выдержки в течение 1—30 мин (в зависимости от характера и глубины выявляемого дефекта) сдувают. После этого деталь рассматривают в ультрафиолетовом свете. В местах дефектов пропитанный раствором порошок удерживается на поверхности детали и дает яркую флюоресценцию, в то время как чистая металлическая поверхность детали не светится.

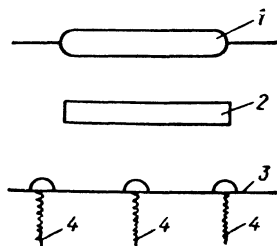


Рис. 14.9

Люминесцентным методом можно обнаружить не только местоположение поверхностной трещины, но и ее глубину. Люминесцентная установка (рис. 14.9) состоит из лампы 1 — источника ультрафиолетовых лучей (кварцевого стекла) и светофильтра 2, задерживающего лучи видимого спектра от попадания на облучаемую поверхность 3 детали с дефектами в виде трещин 4.

Существующие конструкции приборов отечественного производства описаны в литературе [6].

Метод определения герметичности трубопроводов и емкостей с помощью гелиевого течеискателя

При определениях степени герметичности трубопроводов и различных емкостей, помимо ранее описанных методов (как-то: методика керосиновой пробы при контроле сварных швов), находит широкое

применение метод с применением гелиевого течеискателя. Этот метод основан на возникновении тихого электрического разряда в газосветной трубке, находящейся под напряжением. Характер свечения зависит от рода газа, находящегося в трубке.

Существует несколько методов контроля, в основе которых лежит данное явление. Приведем некоторые из них. Контролируемая емкость заполняется гелием под избыточным давлением. Затем вдоль сварных швов перемещают газосборник, соединенный с газосветной трубкой. Трубка подключается к зажимам источника тока высокого напряжения. При перемещении газосборника вдоль дефектных участков контролируемой детали гелий, просачивающийся через сквозные поры или трещины, поступает в газосветную трубку. При этом в трубке возникает характерное свечение, свидетельствующее о наличии в данном месте соединения сквозного дефекта. В некоторых случаях контролируемые емкости помещают в резервуар, заполненный гелием. С помощью воздушного насоса из контролируемых емкостей откачивается воздух, который поступает наружу через газосветную трубку. При наличии в контролируемой емкости сквозных дефектов гелий вследствие перепада давления проникает из резервуара в контролируемую емкость и, поступая в газосветную трубку, обуславливает возникновение в ней характерного свечения.

Метод магнитных порошков

Контролируемые детали намагничиваются постоянным или переменным током, а затем на их поверхность наносятся частицы мельчайшего магнитного порошка, чаще в форме суспензии. При этом порошок располагается на краях дефектов. Наличие дефектов в металле искажает магнитный поток, что обнаруживается при рассмотрении картин распределения порошка на поверхности детали.

В зависимости от поперечного сечения испытуемой детали сила тока для намагничивания, получаемая от силового трансформатора или батареи специальных аккумуляторов, колеблется в пределах 2000—3000 А.

Различают контроль намагниченной детали: «на остаточную намагниченность»¹, когда магнитный порошок наносится после намагничивания, и «при наложенном магнитном поле», если порошок наносится в присутствии намагничивающего поля. Первому испытанию подвергаются закаленные детали, а также изделия, изготовленные из легированных марок стали. Контролю при наложенном магнитном поле подлежат изделия, не проходившие термической обработки, а также проверяемые с целью обнаружения внутренних дефектов, расположенных вблизи поверхности.

Метод магнитных порошков дает возможность выявить трещины только в том случае, если они преграждают путь потоку магнитных силовых линий.

Деталь может быть намагничена циркулярным, полюсным или комбинированным методом.

Ц и р к у л я р н о е н а м а г н и ч и в а н и е (A и A_1 , рис. 14.10) позволяет найти только продольные трещины на контролируемых де-

¹ Остаточным магнетизмом называется сохранение намагничивания после снятия намагничивающего поля.

талях; полюсным намагничиванием (B и B_1) обнаруживаются только поперечные трещины, а комбинированным (B и B_1) — продольные и поперечные трещины на контролируемой детали.

Величина дефекта и глубина его залегания имеют существенное значение, вызывая большее или меньшее искажение формы потока магнитных силовых линий. Чем меньше дефект и глубже его залегание, тем слабее исказится картина силовых линий магнитного потока над

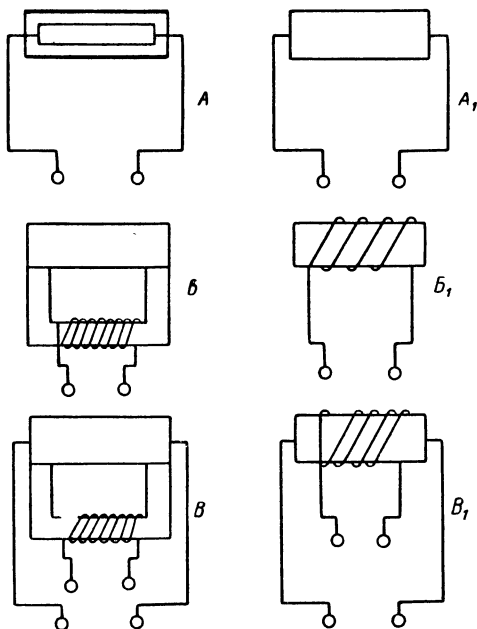


Рис. 14.10

соответствующим участком поверхности. Таким образом, точность метода зависит от ряда факторов: качества магнитного порошка и способа его нанесения, напряженности магнитного поля, метода намагничивания, способа контроля, величины дефекта и глубины его залегания.

Увеличение напряженности магнитного поля, использование постоянного тока для намагничивания, нанесение магнитного порошка при наложенном магнитном поле дают более точные результаты.

Наиболее распространен и доступен порошок, полученный восстановлением из крокуса или железного сурика. Восстанавливая сурик при температуре 500—550° С в струе светильного газа в течение 1 ч, а затем охлаждая печь до 80—100° С при включенном газе, получают черный порошок. Цвет порошка для удобства контроля может быть

изменен на светло-коричневый или темно-красный, если порошок извлечь из печи при температуре $80-100^{\circ}\text{C}$ и охладить на воздухе. Светлый магнитный порошок можно получить при добавке к черному алюминиевой пудры.

Точность обнаружения поверхностных дефектов можно повысить приготовлением суспензии, т. е. жидкости, содержащей масло, керосин, водный мыльный раствор с концентрацией мыла $0,2-0,3\%$ на 1 л, в котором твердые частицы ферромагнитного порошка находятся во взвешенном состоянии.

Для получения керосиновой или масляной суспензии на 1 л жидкости вводится 25—35 г порошка.



Рис. 14.11

Погружение детали в ванну с суспензией дает более высокую точность, чем поливка ее. Время пребывания детали в ванне около 1 мин.

Для обнаружения внутренних дефектов более чувствительным является способ нанесения магнитного порошка в сухом виде. При этом выявляются трещины, перпендикулярные силовым линиям магнитного потока на глубине до 7 см от поверхности.

На рис. 14.11 показана зависимость глубины обнаруживаемого дефекта от силы намагничивающего тока и условий проведения испытаний. Кривые характеризуют способ нанесения порошка: 1 — в виде суспензии при переменном токе; 2 — в сухом виде при переменном токе; 3 — в виде суспензии при постоянном токе; 4 — в сухом виде при постоянном токе.

Получает распространение намагничивание импульсами тока или мгновенное намагничивание. Продолжительность действия поля, определяемая длительностью импульса тока от разряда конденсаторов, составляет приблизительно от 10^{-3} до 10^{-6} с. При этом толщина намагниченного слоя получается очень малой, но вполне достаточной для выявления поверхностных дефектов. Максимальная напряженность поля для закаленной стали рекомендуется порядка $100-130$ э (от $1,25$ до $1,65$ А/м).

При использовании мгновенного намагничивания материал контролируемой детали должен иметь высокую коэрцитивную силу, т. е.

находится в состоянии закалки в случае изделий из углеродистой стали.

Детали, прошедшие магнитный контроль, подвергаются обязательному размагничиванию. Детали, намагниченные переменным током, размагничиваются пропусканием через соленоид, напряженность магнитного поля которого убывает от максимума до нуля. Размагничивание деталей, намагниченных постоянным током, осуществляется в постоянном поле, но при обязательной перемене направления поля и постепенном уменьшении его напряженности до нуля. Размагничиванию не подлежат детали (например, отливки), подвергающиеся нагреву выше критической температуры после магнитного испытания.

Дефектоскопия методом магнитных порошков нашла широкое применение на машиностроительных заводах для контроля различных по размеру и назначению изделий; осей, валов, зубчатых колес, турбинных лопаток, различного инструмента и может быть также использована для обнаружения поверхностных трещин в сварных соединениях.

Магнитная структуроскопия

Магнитная дефектоскопия дает возможность контроля стальных и чугуновых деталей и позволяет судить о структуре материала детали по показателям магнитных свойств.

Ферромагнитные свойства металлов и сплавов зависят от их фазового и структурного состояния. Структурно чувствительными являются свойства, определяющие техническое намагничивание: коэрцитивная сила, проницаемость или восприимчивость, остаточная индукция. Преимущественно эти свойства зависят от дисперсности и формы кристаллов, их ориентировки и расположения и искажения атомно-кристаллической решетки.

По величине коэрцитивной силы можно контролировать изделие после термической обработки, например после отпуска, проведенного при различных температурах, а также определять в изделиях толщину цементированного, азотированного и закаленного слоев.

После намагничивания до насыщения контролируемого изделия направление тока изменяют, размагничивая изделие. Сила тока, размагничивающая изделие, отсчитываемая по миллиамперметру, пропорциональна коэрцитивной силе и может быть сравнена со свойствами стандартного образца. Этот принцип использован для контроля шариковых и роликовых подшипников после термообработки на ИПЗ.

Коэрцитиметр конструкции Н. М. Михеева, позволяющий судить о магнитных свойствах на отдельных участках изделия, дает возможность проверить глубину цементированного и закаленного слоев, а также глубину обезуглероженного слоя.

С помощью индукционного дифференциального аустенитометра Н. С. Акулова можно контролировать, достаточно ли полно прошел процесс превращения остаточного аустенита в мартенсит при отпуске режущих инструментов из быстрорежущих и высокохромистых инструментальных сталей, склонных к сохранению этой вредной (для режущих свойств) структурной составляющей после однократного отпуска. В этом приборе стандартный образец и испытуемый инструмент намагничиваются переменным током. По величине электродвижущих сил, отмечаемых милливольтметром и индуцируемых в катушках, можно установить допуск на различие структурного состояния в испытуемых одновременно стандартном и контролируемом образцах.

8. ВЫЯВЛЕНИЕ ВНУТРЕННИХ ДЕФЕКТОВ МЕТАЛЛОВ

Ультразвуковая дефектоскопия

Выявление внутренних дефектов в деталях с помощью ультразвука основано на свойстве ультразвуковых волн отражаться от границы двух сред — металла и воздуха. Пропуская через деталь ультразвук и улавливая его отражение от внутренних трещин или раковин, можно по направлению и силе отраженного ультразвука определить место, протяженность и глубину этих дефектов [1, 5, 14].

Источником возбуждения ультразвуковых волн высокой частоты является пьезоэлемент в виде пьезокварца или кристалла титаната бария, колебания которых передаются контролируемой детали. Рыхлоты, неоднородность, включения графита препятствуют проникновению ультразвука.

В жидких и газообразных телах распространяются только продольные ультразвуковые колебания. В твердых телах возможны продольные, поперечные и поверхностные волны.

На практике находят применение дефектоскопы с непрерывным излучением и импульсные. Различают три основных метода ультразвуковой дефектоскопии: теневой, метод отражения и резонансный. Приборы, работающие по последнему принципу, находят применение для измерения толщины стенки изделия, где прямое измерение затруднено. Дефектоскопы с непрерывным и импульсным излучением ультразвука применимы для контроля нарушений металлической сплошности детали в виде трещин, шлаковых включений, засоров, пористости и волосовин размером не менее $\frac{1}{3}$ длины волны (табл. 14.2).

Если направленный в однородную металлическую среду пучок ультразвуковых волн встретит на своем пути инородное тело или несплошность с иными акустическими свойствами (рис. 14.12), то при прохождении через него интенсивность пучка уменьшается в результате поглощения и рассеяния, образуя за собой «звуковую тень» размером l_1

$$l_1 = l_0 - 2h \operatorname{tg} \theta,$$

где l_0 — размер инородного тела или несплошность.

Угол θ может быть найден из отношения

$$\sin \theta = 1,22 \frac{\lambda}{D_n}$$

где D_n — диаметр излучателя; λ — длина волны.

Применение способа «звуковой тени» требует размещения приемника и излучателя ультразвука по разным сторонам контролируемого изделия, а наличие в последнем дефекта обнаружится по изменению интенсивности звукового луча, прошедшего через дефект.

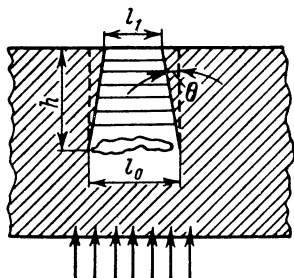
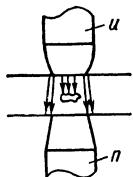
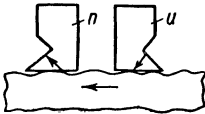
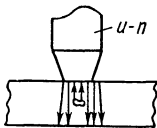
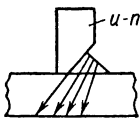
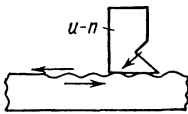
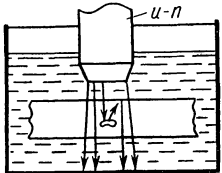


Рис. 14.12

ТАБЛИЦА 14.2

Импульсные методы ультразвуковой дефектоскопии

Наименование метода	Характер волны	Схема контроля
Метод «звуковой тени» с раздельными излучателями	Продольные волны	
	Продольные волны	
Эхо-контактные методы косвенной оценки с совмещенными или раздельными излучателями	Продольные волны	
	Поперечные волны	
	Поверхностные волны	
Эхо-иммерсионный метод с совмещенными или раздельными излучателями	—	
Примечание. <i>u</i> — излучатель; <i>n</i> — приемник; <i>u-n</i> — излучатель-приемник.		

Дефект может быть обнаружен также и способом отражения или эхо-методом, когда приемники и источник посылаемого ультразвука расположены по одной стороне контролируемой детали. При этом дефект обнаруживается в результате отражения от него ультразвуковой волны.

Наличие дефекта можно обнаружить по отклонению стрелки милливольтметра, появлению всплесков на экране электронно-лучевого осциллоскопа и т. д. Таким образом контроль осуществляется косвенной оценкой. Однако на экранах специальных дефектоскопов можно наблюдать и конфигурацию дефекта, т. е. контроль может осуществляться с визуальной оценкой.

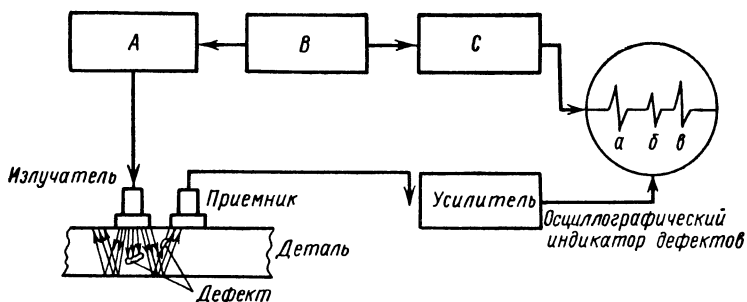


Рис. 14.13

Наиболее распространенным методом ультразвукового контроля является эхо-импульсный метод, блок-схема которого показана на рис. 14.13. Синхронизирующий генератор В периодически, через несколько микросекунд, вырабатывает сигнал, синхронизирующий работу отдельных блоков дефектоскопа, в частности генератора высокой частоты А (С — генератор развертки). Генератор А, вырабатывая импульс продолжительностью в несколько долей микросекунды, подает его на излучательную головку или излучатель, в котором электрические колебания с помощью пьезопластины преобразуются в механические, т. е. ультразвук, который распространяется в контролируемую деталь.

При наличии в контролируемой детали дефекта ультразвуковая волна от него отразится и попадет в приемник, т. е. приемную головку, где пьезопластина вследствие прямого пьезоэффекта превратит этот механический импульс в электрический. Последний, будучи усилен в приемно-усилительном тракте, попадает на пластины вертикальной электронно-лучевой трубки, которая входит в состав устройства, называемого индикатором.

Если к некоторому моменту времени электронный луч на экране трубки пройдет путь *аб*, то наличие дефекта образует в точке *б* всплеск, величина которого зависит от размера дефекта, а в точке *в* — отражение от дна. Поэтому на экране трубки отражается диаграмма, по горизонтальной оси которой отложено время, пропорциональное глубине залегания дефекта, а по вертикальной — интенсивность отраженного от дефекта импульса. Расчетом можно установить, если дефектоскоп не имеет глубиномера, координаты дефекта.

Излучательные головки, служащие для преобразования электрических колебаний в ультразвуковые для введения их в контролируемую деталь, могут быть прямые, вводящие ультразвуковой луч перпендикулярно поверхности, наклонные, направляющие луч под углом без преломления, и преломляющие, вводящие в металл как продольные, так и поперечные волны под углом до 90° . Для приема отражаемого ультразвукового луча и преобразования его в электрический импульс применяется приемная головка.

Иногда в качестве излучателя и приемника служит одна головка, что находит все большее распространение.

Наиболее распространенные типы отечественных ультразвуковых дефектоскопов: УЗД-16, УЗД-7Н, УЗД-1М, УЗД-12Т, УЗД-НИИМ-10, УЗД-60, ДУК-6В, ДУК-8, ДУК-13, ДУК-66, ДУК-13ММ, ДУК-21, УДМ-1М, УДИ-10 и др.

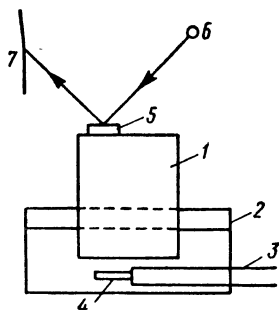


Рис. 14.14

Примером резонансного метода может быть схема, приведенная на рис. 14.14. Изделие 1, помещенное в масляную ванну 2, подвергается прозвучиванию от источника ультразвуковых волн 4, к которому по проводнику 3 поступает ток высокой частоты. Со стороны, противоположной ходу лучей, на изделие устанавливают сосуд 5 с маслом. На поверхность масла от источника 6 падает свет, который, отражаясь, дает на экране 7 изображение этой поверхности. Ультразвук, проходя через деталь, вызывает на поверхности масла в сосуде 5 систему волн,

которая будет меняться в зависимости от наличия на пути ультразвука тех или иных внутренних дефектов. Перемещая контролируемую деталь в масляной ванне в желаемом направлении и изучая картину поверхности масла в сосуде 5, можно обнаружить места расположения различных дефектов. Дефектоскопы, построенные по этому принципу, успешно работают для прозвучивания массивных изделий. Помимо использования ультразвуковых колебаний для выявления внутренних дефектов в материалах, они широко применяются при контроле качества металлических и неметаллических изделий, а также при контроле технологических процессов. Приведем краткий перечень областей применения ультразвука для указанных целей:

- 1) автоматический контроль величины зерна в сплавах;
- 2) контроль качества материалов путем определения величин скоростей ультразвуковых колебаний;
- 3) исследование степени однородности распределения углерода в сталях;
- 4) исследование и контроль структурного строения сплавов;
- 5) определение степени анизотропии сплавов;
- 6) контроль качества точечной сварки по осциллограммам затухания ультразвуковых колебаний.

Дефектоскопия просвечиванием

Метод выявления дефектов просвечиванием заключается в оценке интенсивности проникающего излучения, проходящего через изделие [7, 10].

Изделие с толщиной стенки D подвергается облучению пучком рентгеновских лучей с интенсивностью I_0 (рис. 14.15). Так как металл частично поглощает рентгеновские лучи, то, пройдя через тело контролируемого изделия, пучок лучей будет падать на светочувствительную пленку A ослабленным. Однако при этом интенсивность лучей, прошедших через бездефектный участок изделия I_D , будет меньше интенсивности лучей, прошедших через раковину в его теле I_{D-d} , так как на длине раковины d эти лучи не поглощались.

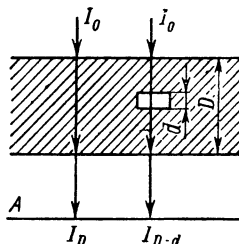


Рис. 14.15

Проявив пленку, можно определить положение и размеры дефектов в изделии по положению и интенсивности черных пятен на пленке.

Ввиду того, что предельная толщина просвечивания зависит от сорта металла, один снимок не может дать глубины залегания (рис. 14.16, а). Поэтому необходимо сделать второй, дополнительный снимок либо в на-

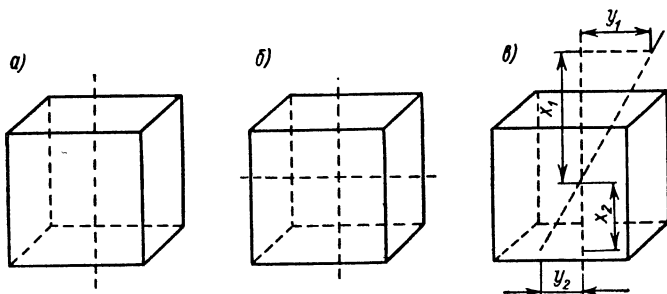


Рис. 14.16

правлении, перпендикулярном первой оси (рис. 14.16, б), либо под некоторым углом к первому снимку (рис. 14.16, в).

Из подобия треугольника можно написать:

$$x_2 = \frac{y_2 x_1}{y_1}$$

или

$$x_2 = \frac{x_1 + x_2}{y_1 + y_2} y_2;$$

таким образом местоположение дефекта точно устанавливается.

Можно также сделать два снимка в одной плоскости так, чтобы иметь возможность рассматривать полученные негативы в стереоскопе для наглядного изучения дефекта в пространстве.

Вместо фотографирования можно применять для обнаружения дефекта метод визуального наблюдения, если заменить светочувствительную пленку люминесцирующим экраном. В табл. 14.3 ориентировочно дана предельная толщина просвечивания рентгеновскими лучами.

ТАБЛИЦА 14.3

Предельная толщина просвечивания (в мм) некоторых материалов рентгеновскими лучами при 200 кВ, 15 А с двумя усиливающими экранами

Материал	Продолжительность экспозиции в мин			
	Малое поле		Большое поле	
	10	60	10	60
Алюминий	210	245	325	380
Железо	55	65	70	80
Медь	35	40	40	50

Просвечивание γ -лучами [7]. Источниками излучения γ -лучей являются радиоактивные элементы (естественные или искусственные).

Обычно препарат радиоактивного элемента помещают в специальную герметически запаиваемую ампулу диаметром в несколько миллиметров и длиной 30—40 мм. Ампула хранится и транспортируется в свинцовом контейнере, толщина стенок которого зависит от применяемого радиоактивного препарата. Ампула с препаратом представляет собой источник γ -лучей с большим сроком действия.

Искусственные источники γ -лучей — радиоактивные изотопы в зависимости от энергии γ -лучей разделяются на три группы: с жестким излучением, средним и мягким. Например, $^{60}\text{Co}_{27}$ обладает жестким излучением (период полураспада 5,3 года). Излучение средней жесткости имеют селен, гафний, иридий; ванадий, хром, серебро, кадмий и цезий дают мягкое излучение. Наличие источников с мягким и средним γ -излучением имеет большое значение, так как дает возможность повысить чувствительность снимков при просвечивании металлов малых толщин.

Интенсивность излучения радиоактивного препарата по сравнению с интенсивностью рентгеновских лучей во много раз меньше, в связи с чем продолжительность экспозиции для препарата больше; например, для препарата радия составляет несколько часов. Тем не менее применение радиоактивных препаратов в ряде случаев имеет преимущество, например, оно весьма облегчает подход к соответствующему месту контролируемого изделия вследствие небольшого источника облучения (ампула). Радиоактивный препарат позволяет одновременно просвечивать несколько объектов. Крупную полую деталь (например, при контроле сварного крупного шва барабана котла) γ -лучи просвечивают целиком, в то время как при рентгеновской съемке потребовалось бы просвечивание по частям.

Малоконтрастное изображение дают γ -лучи большой жесткости, что при одновременном просвечивании изделий с различной толщиной стенки способствует получению снимка без передержки или недодержки в разных местах детали.

В табл. 14.4 дана примерная экспозиция при просвечивании γ -лучами некоторых металлов с различной толщиной стенки.

ТАБЛИЦА 14.4

Примерная экспозиция (в ч) при просвечивании стали, меди и алюминия γ -лучами (источник — 100 мк радия, фокусное расстояние — 0,5 м)

Толщина в см	Сталь	Медь	Алюминий
2,5	0,5—1,5	0,5—0,2	0,2—0,5
5	1,5—3,6	2—4	0,5—1
10	5—16	6—18	4—6
15	30—70	40—80	10—25
20	100	—	—

Определение толщины контролируемых деталей, доступных с одной стороны

При определении толщины стенок деталей, доступ к которым возможен лишь с одной из сторон, широко применяются методы, основанные на поглощении радиоактивных излучений при прохождении их через материалы. Измеряя интенсивность бета- или гамма-излучения, прошедшего через слой того или иного материала, легко установить зависимость ее как от рода материала, так и от толщины его слоя. Как известно, зависимость эта выражается следующей формулой:

$$\Delta x = \frac{1}{\mu} \ln \frac{I_0}{I},$$

где Δx — толщина слоя; μ — линейный коэффициент ослабления данного материала; I_0 — начальная интенсивность излучения; I — интенсивность излучения после прохождения им слоя данного материала толщиной Δx .

По кривым поглощения бета- или гамма-излучения для применяемого радиоактивного изотопа легко определить толщину контролируемой детали. Вид зависимости степени ослабления интенсивности радиоактивного излучения I от толщины слоя Δx , через который оно прошло, характеризуется кривой, показанной на рис. 14.17.

При определениях толщин тонкостенных деталей применяют радиоактивные изотопы, дающие мягкое излучение типа стронций-90, а при определениях толщин толстостенных деталей — изотопы, дающие жесткое излучение, типа кобальт-60. Широко используется рассматриваемый метод при производстве автоматического контроля листового проката различных толщин. Принципиальная схема подобного толщиномера приведена на рис. 14.18 (1 — источник излучения; 2 — кон-

тролируемый лист; 3 — индикатор — ионизационная камера или счетчик частиц; 4 — указывающий прибор).

Установки подобного типа (например, ИТУ-495) позволяют производить автоматический контроль листового материала толщиной 0,05—1 мм с точностью порядка 1,5—2%. Для поддержания толщины проката в заданных пределах в схему установки включается специальное реле, воздействующее на механизм, регулирующий расстояние между валиками прокатного стана. Подобный метод контроля равномерности толщины листовых материалов используется не только для металлов, но и для других материалов.

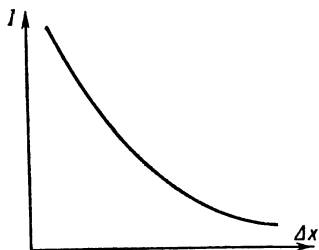


Рис. 14.17

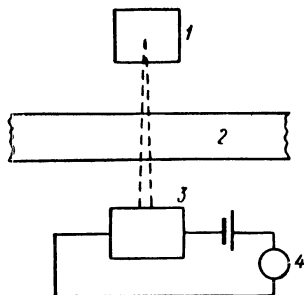


Рис. 14.18

Кроме бесконтактного определения толщины деталей, а также толщины покрытий, метод измерения интенсивности отраженного рассеянного излучения нашел применение при определениях содержания компонентов в двухфазных системах. Применяя радиоизотопный прибор, основанный на рассмотренном принципе, можно определять процентный состав бинарных сплавов. Эта возможность основана на том, что атомы разных металлов имеют различную отражающую способность. Чем больше различие атомных весов компонентов сплава, тем чувствительность метода определения процентного состава сплава выше. При определении содержания вольфрама в стали рассмотренный метод обеспечивает точность определения порядка 0,2—0,5%.

Области применения радиоактивных изотопов при контроле протекания технологических процессов:

- 1) контроль уровней в закрытых резервуарах;
- 2) контроль степени износа вкладышей подшипников;
- 3) контроль обезуглероживания и перераспределения углерода при термической обработке сплавов;
- 4) исследование процессов распределения элементов между металлом и шлаком;
- 5) наблюдение за кинетикой плавления скрапа и его сортировка;
- 6) исследование зон сплавления в сварных швах;
- 7) определение содержания компонентов в сплавах;
- 8) определение степени износа футеровки металлургических печей;
- 9) контроль толщины проката;
- 10) определение скорости кристаллизации и диффузии в сплавах.

Кроме того, радиоактивные изотопы широко используются в самых разнообразных областях техники.

Бетатронная γ -дефектоскопия [2]. Бетатрон представляет собой установку для получения γ -лучей высокой энергии. Бетатронное γ -излучение, примененное для дефектоскопии, позволяет:

1) увеличить толщину просвечиваемого стального изделия до 500 мм и более;

2) обнаружить в стали толщиной св. 200 мм дефекты протяженностью менее чем 1% от общей толщины образца;

3) уменьшить экспозицию просвечивания и получить четкую и резкую картину изображения дефекта;

4) при наличии неравномерной толщины просвечиваемого участка можно не выравнивать эту толщину, т. е. не применять специальных компенсаторов;

5) применять защитные меры только во время работы бетатрона.

Преимущества при просвечивании бетатроном по сравнению с γ -лучами источника кобальта-60 показаны в табл. 14.5.

ТАБЛИЦА 14.5

Время экспозиции, необходимое для просвечивания стальных изделий γ -лучами источника кобальта-60 активностью 30 г-экв радия и бетатрона 22 МэВ с интенсивностью 70 Р мин·м

Толщина стали в мм	Время экспозиции		Толщина стали в мм	Время экспозиции	
	бетатрон 22 МэВ	ко- бальт-60		бетатрон 22 МэВ	ко- бальт-60
50	1,3 с	0,66 ч	400	57 мин	10 000 ч
100	3,6 с	2,88 ч	500	7,15 ч	200 000 ч
200	47 с	46 ч			

К числу недостатков бетатронного излучения относятся небольшая площадь облучения, что, однако, компенсируется небольшим временем экспозиции, и высокая стоимость по сравнению с применением радиоактивного препарата.

Список литературы

1. Голодаев Б. Г. Ультразвуковой контроль крупногабаритных изделий. М., «Машиностроение», 1968, 40 с.
2. Гораздовский Т. Я. Физические методы неразрушающего контроля качества стальных заготовок. М., Металлургиздат, 1970, 64 с.
3. Гурвич А. К. Ультразвуковая дефектоскопия сварных соединений. Киев, Госиздат технической литературы УССР, 1972, 225 с.
4. Еремин Н. И. Магнитная порошковая дефектоскопия. М., «Машиностроение», 1972, 71 с.
5. Ермолов И. Н. Методы ультразвуковой дефектоскопии (в 2-х частях). М., Московский горный институт, 1968, 382 с.
6. Карякин А. В. и Боровиков А. С. Люминесцентная и цветная дефектоскопия. М., «Машиностроение», 1972, 240 с.
7. Мак-Гонейгл У. Испытания без разрушения. Пер. с англ. М., «Машиностроение», 1965, 352 с.

8. **Неразрушающие испытания.** Справочник. М., «Энергия», 1965, 157 с.
9. **Соколов В. С.** Дефектоскопия материалов. М., Госэнергоиздат, 1961, 328 с.
10. **Хинели Д.** Методы испытания материалов без разрушения. Пер. с англ. М., Металлургиздат, 1968, 408 с.
11. **Чернов А. П.** Методы неразрушающего контроля. М., Госкомитет стандартов, 1972, 51 с.
12. **Шапошников Н. А.** Механические испытания металлов. М.—Л., Машгиз, 1954, 443 с.
13. **Шебеко М. П. и Яковлев А. П.** Контроль качества сварных соединений. М., Стройиздат, 1972, 120 с.
14. **Шрайбер Д. С.** Ультразвуковая дефектоскопия. М., Металлургиздат, 1965, 391 с.

ГЛАВА ПЯТНАДЦАТАЯ

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ ПРИ АНАЛИЗЕ И КОНТРОЛЕ КАЧЕСТВА, ИЗМЕРЕНИЯХ И ИСПЫТАНИЯХ

1. ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ

Теория вероятностей и математическая статистика позволяют решать ряд задач, главнейшие из них:

- 1) оценка результатов измерений и испытаний и сравнение показателей точности оценки;
- 2) установление целесообразных допусков на показатели качества продукции и оценка их выполнимости;
- 3) статистический анализ и регулирование технологических процессов (изготовления), в том числе автоматизированных;
- 4) установление взаимосвязи между показателями качества или свойствами продукции, а также параметрами процессов производства;
- 5) оценка значимости неоднородности показателей качества продукции, а также надежности элементов системы или частей машины;
- 6) определение области применения и выбор метода статистического приемочного контроля качества.

2. ВЫБОРКА И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ

Основные понятия и классификация выборок ¹

С л у ч а й н ы м называют такое явление или событие, которое при реализации определенного комплекса условий может произойти, а может и не произойти, и имеет определенную вероятность появления. Так, если при серийном производстве разрешаются любые значения размеров (в границах допусков) деталей, то получение определенного размера у одной из деталей серии является случайным событием.

Математическая статистика, основанная на теории вероятностей, рассматривает и описывает совокупности случайных явлений, событий или предметов, которые значительным числом признаков и свойств одного рода представляют нечто целое, а по другим признакам и свойствам разбиваются на отдельные единицы или группы определенной численности. Так, цилиндрические втулки, обладая рядом общих признаков и свойств, присущих именно втулкам определенного наименования, могут быть разбиты на различные группы по любому из следующих параметров: размерам диаметра наружного или внутреннего, длине, твердости материала, массе и т. п.

Множество изделий, объединенных любым признаком, называется о б щ е й (генеральной) с о в о к у п н о с т ь ю. Общая совокупность

¹ Предполагается знание читателем основных положений теории вероятностей и математической статистики [7, 9, 10, 15, 16, 19].

предполагается достаточно большой (конечной) или неограниченной (бесконечной). К последней, например, можно отнести совокупность, образуемую из наблюдений при измерении детали, наудачу взятой из некоторой группы их, если измеренная деталь каждый раз возвращается обратно в группу.

В теории вероятностей изучаются абстрактные генеральные совокупности, которые отражают реальные совокупности явления или событий.

Выборочной совокупностью или выборкой (пробой) называют определенное количество единиц общей совокупности (продукции), взятых в определенном порядке. Количество единиц (членов) продукции или количество произведенных измерений или испытаний называется объемом выборки и обозначается через n , n_i или N .

Наблюдения некоторой величины, одинаковые или близкие друг к другу, обычно объединяют в один класс (разряд). Число значений одного разряда называют частотой n_i . Последнюю, выраженную в долях или процентах от общего количества единиц N выборки, называют частотой $\left(\frac{n_i}{N}; \frac{n_i}{N} 100\%\right)$. При соблюдении определенных

условий частота имеет тенденцию приближаться к вероятности (P , вер; p) [4, 9, 10, 15].

Частоты и частости определенного процесса обладают известной устойчивостью, что позволяет производить математическое описание совокупности и выявить присущие им закономерности.

Порядок образования выборок должен полностью соответствовать поставленным задачам исследования общей совокупности, (т. е. быть репрезентативными или представительными). Так, выбранные участки для измерения твердости изделия должны согласовываться с условиями эксплуатации этого изделия. Для оценки точности изготовления деталей выборку целесообразно производить непосредственно после изготовления деталей, т. е. до отбраковки.

Случайной выборкой называется такая, при составлении которой для любой единицы продукции обеспечивается равная вероятность быть отобранной и включенной в выборку. В производственных условиях для образования случайной выборки производят отбор, пользуясь таблицами случайных чисел [10], или отбирают наугад детали из различных частей ящика или нескольких ящиков с различных полок стеллажей, в различные периоды изготовления деталей и т. п. Если детали при промывке перемешивают, то этим одновременно облегчают отбор в случайном порядке. Случайные выборки предпочтительны для приемочного контроля.

Пристрастной выборкой считается такая, при которой отдают предпочтение одним единицам партии перед другими (например, отбор закаленных деталей, имеющих твердость более чем определенная величина).

Различают также следующие категории производственных выборок.

1. Поверочная, когда производят многократные измерения одного и того же объекта в определенном участке и при одинаковых условиях.
2. Выборка из случайно отобранных деталей (единовременная), когда для оценки показателя качества извлекается однократно часть продукции (обычно выборки объемом 50—200 экз.). Указанная выборка

может являться общепроизводственной, при которой в случайном порядке производят отбор от ряда станков (агрегатов) деталей равного объема или пропорционально производительности станков. Подобная выборка рекомендуется ГОСТ 16407—70 для оценки совместного влияния случайных и систематических факторов и названа выборкой из случайно отобранных деталей, изготовленных группой станков, выполняющих одну и ту же операцию при различных настройках.

Выборка из случайно отобранных деталей, изготовленных на одном станке (определенном агрегате), может быть названа одноагрегатной. Если отбор производят только с одной настройки и за период автоматической работы агрегата, без подналадок, то такую выборку можно называть однонастроечной.

Выборка может быть межоперационной, применяемой для изучения показателей качества на различных операциях (установках, позициях и т. д.) изготовления продукции.

3. Мгновенная (текущая), когда для той же оценки извлекается выборка малого объема (обычно 3—20 экз.), составленная из единиц деталей, изготовленных последними к моменту отбора в короткий промежуток времени [2].

Приведенные типы выборок могут комбинироваться: например, одноагрегатная однонастроечная выборка и т. п.

С л у ч а й н о й в е л и ч и н о й X называют такую переменную величину, которая принимает различные значения (при фиксированном комплексе условий их появления) с определенными вероятностями.

Случайные величины разделяются на прерывные и непрерывные. Количество бракованных единиц в партии является прерывной случайной величиной, так как она может принимать лишь целые значения, а размер детали — непрерывной случайной величиной, поскольку она может принимать любое значение.

Законы распределения

З а к о н о м р а с п р е д е л е н и я называют зависимость между возможными значениями x_1, x_2, \dots, x_k случайной величины X и соответствующими вероятностями p_1, p_2, \dots, p_k для каждого значения x

$$p_x = y = f(x); x = x_i; i = 1, 2, \dots, k.$$

Для непрерывной случайной величины закон распределения задается так называемой плотностью вероятности

$$p_x = \lim_{dx > 0} \frac{\text{вер}(x \leq X < x + dx)}{dx},$$

где в числителе дроби — вероятностный элемент, т. е. вероятность (вер.) того, что случайная величина X примет значение внутри бесконечно малого промежутка от x до $x + dx$.

Функцией распределения прерывной случайной величины X называют функцию

$$F(x') = \text{вер}(X < x') = \sum_{x < x'} f(x),$$

где x' — наперед заданное значение.

Функция распределения непрерывной случайной величины X

$$F(x') = \text{вер}(X < x') = \int_{-\infty}^{x'} f(x) dx,$$

где $f(x)$ — плотность распределения вероятностей данной величины X .

Для практических приложений существенно уметь находить вероятность того, что X примет значение, принадлежащее конечному промежутку от x_1 до x_2 (например, интервалы между предельными размерами детали)

$$\text{вер}(x_1 \leq X < x_2) = F(x_2) - F(x_1) = \int_{x_1}^{x_2} f(x) dx.$$

В частности,

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = \text{вер}(-\infty < X < \infty) = 1.$$

Если заданы функции $f(x)$ или $F(x')$ ¹, то это то же, что задан закон распределения случайной величины X .

Статистическая обработка и анализ данных предполагают знание законов распределения, которым подчиняются случайные величины: размеры деталей, числа твердости, значения механических свойств материалов, количество периодов безостановочной работы станка или автоматической линии и т. п.

В табл. 15.1 приведены плотности и функции некоторых важных для машиностроения законов распределения непрерывных случайных величин.

Параметрами² большинства законов распределения являются среднее значение (математическое ожидание) \bar{X}_0 и среднее квадратическое отклонение σ или дисперсия σ^2 (стр. 864, 865). Для удобства вычислений применяют нормировку, заключающуюся в том, что значения x (R , R_m и т. д.) случайной величины X заменяют безразмерной переменной t (см. табл. 15.1).

Области практических приложений законов распределения (табл. 15.1) следующие.

1. Равновероятное распределение (рис. 15.1, а) свойственно погрешностям округления до ближайшего деления шкалы прибора, а также погрешностям измерения, если они соизмеримы с величиной отсчета. Этому распределению приближенно следуют некоторые производственные погрешности, например размеров деталей при равномерном во времени износе режущих инструментов или равномерном изменении температуры в процессе обработки, а также обобщенные совокупности размеров деталей мелкосерийного производства [8].

¹ Здесь и в дальнейшем $F(x')$ будет обозначаться через $F(x)$.

² Определение см. на стр. 864.

ТАБЛИЦА 15.1
Плотность и функции распределения непрерывных случайных величин

Вид распределения	Плотность вероятности	Функция распределения	Область значений	Определяющие параметры распределения
Равномерное	$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{c-b} & \text{при } b \leq x \leq c \text{ (a)} \\ 0 & \text{при } x < b \text{ (b)} \\ 0 & \text{при } x > c \end{cases}$ <p>(рис. 15.1, а)</p>	$F(x) = \begin{cases} \frac{x-b}{c-b} & \text{при } b \leq x \leq c \text{ (b)} \\ 0 & \text{при } x < b \\ 1 & \text{при } x > c \end{cases}$	От b до c	b и c
Нормальное (Гаусса): а) общий случай	<p>а) $f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \times \exp\left[-\frac{(x-\bar{X}_0)^2}{2\sigma^2}\right]$ (с)</p> <p>(рис. 15.1, б)</p> <p>б) $f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right)$ (е)</p>	<p>а) $F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \times \int_{-\infty}^x \exp\left[-\frac{(x-\bar{X}_0)^2}{2\sigma^2}\right] dx$ (d)</p> <p>б) $F(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \times \int_t^{\infty} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt$ (f)</p> <p>В табл. 1 приложения 1 функция Лапласа $\Phi(t) = F(t)$ (f')</p>	От $-\infty$ до ∞	а) \bar{X}_0 и σ б) 0 и 1
б) при нормированной переменной $t = \frac{x - \bar{X}_0}{\sigma}$				

Продолжение табл. 15.1

Вид распределения	Плотность вероятности	Функция распределения	Область значений	Определяющие параметры распределения
Обобщенное типа А: а) общий случай б) при нормированной переменной $t = \frac{x - \bar{X}_0}{\sigma}$	а) $f_A(x) = f(x) - \frac{\alpha}{6} f^{III}(x) + \frac{\tau}{24} f^{IV}(x)$ (г) В формулах (г) и (h) α и τ — оценки параметров по опытным данным; $f(x)$ — по формуле (с); $f^{III}(x)$ и $f^{IV}(x)$ — значения производных (табл. 2 приложения 1 и рис. 15.1, е)	б) $F_A(t) = \Phi(t) - \frac{\alpha}{6} \times \int_0^\infty f^{III}(t) dt + \frac{\tau}{24} \int_0^\infty f^{IV}(t) dt$, (h) где $\Phi(t)$ по формуле (f').	от $-\infty$ до ∞	а) \bar{X}_0 ; σ ; α_0 ; τ_0 б) 0; 1; α_0 ; τ_0
Логарифмическое нормальное: а) общий случай б) при нормированной переменной $t = \frac{\lg X - (\lg X)_0}{\sigma}$	а) $f(\lg x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} \times \exp \left\{ -\frac{[\lg x - (\lg X)_0]^2}{2\sigma^2} \right\}$ (i) (рис. 15.1, з) б) $\varphi(t) = f(t)$, (k) где $f(t)$ — по формуле (е)	а) $F(\lg x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} \times \int_0^x \exp \left\{ -\frac{[\lg x - (\lg X)_0]^2}{2\sigma^2} \right\} \times \times d \lg x$ (j) б) $F(t) = \Phi(t)$, (l) где $\Phi(t)$ — по формуле (f')	от 0 до ∞	а) $(\lg X)_0$ и σ б) 0 и

Продолжение табл. 15.1

Вид распределения	Плотность вероятности	Функция распределения	Область значений	Определяющие параметры распределения
<p>Экспоненциальное:</p> <p>а) общий случай</p> <p>б) при $\lambda_0 = \frac{1}{\bar{X}_0}$</p> <p>в) при $\bar{X}_0 = 1$</p>	<p>а) $f(x) = \frac{1}{\bar{X}_0} \exp\left(-\frac{x}{\bar{X}_0}\right)$ (m)</p> <p>б) $f(x) = \lambda_0 \exp(-x\lambda_0)$ (p)</p> <p>в) $f(x) = \exp(-x)$ (r)</p> <p>(рис. 15.1, d) exp(-x) в [18, табл. 2.1]</p>	<p>а) $F(x) = 1 - \exp\left(-\frac{x}{\bar{X}_0}\right)$ (n)</p> <p>См. [15, табл. V]</p> <p>б) $F(x) = 1 - \exp(-x\lambda_0)$ (q)</p> <p>в) $F(x) = 1 - \exp(-x)$ (s)</p>	<p>От 0 до ∞</p>	<p>а) \bar{X}_0</p> <p>б) λ_0</p> <p>в) 1</p>
<p>Максвелла:</p> <p>а) через \bar{X}_0</p> <p>б) через σ_R</p> <p>в) через нормированную переменную $t = \frac{R}{\sigma_R}$</p>	<p>а) $f(R) = \frac{\pi}{2\bar{X}_0^2} R \exp\left(-\frac{\pi R^2}{4\bar{X}_0^2}\right)$, (y)</p> <p>где R — радиус-вектор (рис. 15, e)</p> <p>б) $f(R) = \frac{\pi}{7,32\sigma_R^2} \times$ $\times R \exp\left(-\frac{\pi R^2}{14,64\sigma_R^2}\right)$ (α)</p> <p>в) $f(t) = 0,655^2 t \times$ $\times \exp\left(-\frac{0,655^2 t^2}{2}\right)$ (γ)</p>	<p>а) $F(R \leq u) = \frac{\pi}{2\bar{X}_0^2} \times$ $\times \int_0^u R \exp\left(-\frac{\pi R^2}{4\bar{X}_0^2}\right) dR$ (z)</p> <p>б) $F(R) = \frac{\pi}{7,32\sigma_R^2} \times$ $\times \int_0^R R \exp\left(-\frac{\pi R^2}{14,64\sigma_R^2}\right) dR$ (β)</p> <p>в) $F(t) = 0,655^2 \times$ $\times \int_0^t t \exp\left(-\frac{0,655^2 t^2}{2}\right) dt$ (δ)</p> <p>$F(t)$ в табл. 3 приложения 1</p>	<p>От 0 до ∞</p>	<p>а) \bar{X}_0</p> <p>б) σ_R; $\bar{X}_0 = 1,913\sigma_R$ где σ_R — среднее квадратическое отклонение длины вектора R</p> <p>в) t</p>

Продолжение табл. 15.1

Вид распределения	Плотность вероятности	Функция распределения	Область значений	Определяющие параметры распределения
<p>Модуля нормального закона</p> $R_M = X_1 - X_2 :$ <p>а) через \bar{X}_0 и σ_0</p> <p>б) через нормированную переменную</p> $\rho = \frac{R_M}{\sigma_0} (\delta')$	<p>а) $f(r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_0} \times$ $\times \left\{ \exp \left[-\frac{(r - \bar{X}_0)^2}{2\sigma_0^2} \right] + \right.$ $\left. + \exp \left[-\frac{(r + \bar{X}_0)^2}{2\sigma_0^2} \right] \right\} (\varepsilon)$</p> <p>б) $f(\rho) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \times$ $\times \left\{ \exp \left[-\frac{(\rho - \rho_0)^2}{2} \right] + \right.$ $\left. + \exp \left[-\frac{(\rho + \rho_0)^2}{2} \right] \right\} (\eta)$ <p>(рис. 15.1, ж)</p> </p>	<p>а) $F(r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_0} \times$ $\times \left\{ \int_0^r \exp \left[-\frac{(r - \bar{X}_0)^2}{2\sigma_0^2} \right] dr + \right.$ $\left. + \int_0^r \exp \left[-\frac{(r + \bar{X}_0)^2}{2\sigma_0^2} \right] dr \right\} (\xi)$</p> <p>б) $F(\rho) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \times$ $\times \left\{ \int_0^\rho \exp \left[-\frac{(\rho - \rho_0)^2}{2} \right] d\rho + \right.$ $\left. + \int_0^\rho \exp \left[-\frac{(\rho + \rho_0)^2}{2} \right] d\rho \right\} (\theta)$ <p>или $F(\rho) = \Phi(t_1) + \Phi(t_2)$, (ж) где $\Phi(t)$ — по формуле (f'); $t_1 = (\rho - \rho_0)$; $t_2 = (\rho + \rho_0)$</p> </p>	<p>От 0 до ∞</p>	<p>а) $\bar{X}_0 = \bar{X}_{01} - \bar{X}_{02}$; $\sigma_0^2 = \sigma_{01}^2 + \sigma_{02}^2$</p> <p>б) $\rho_0 = \frac{\bar{X}_0}{\sigma_0} (\gamma')$ ρ_0 находится по известному λ_0</p>

Продолжение табл. 15.1

Вид распределения	Плотность вероятности	Функция распределения	Область значений	Определяющие параметры распределения
<p>Нормального модуля упрощенное: $R_c = X_1 - X_2$ а) через r_c и σ_0</p>	<p>а) $f(r_c) = \frac{1}{\sigma_0 \sqrt{\pi}} \times$ $\times \exp\left(-\frac{r_c^2}{4\sigma_0^2}\right)$ (λ)</p>	<p>а) $F(r_c) = \frac{1}{\sigma_0 \sqrt{\pi}} \times$ $\times \int_0^{r_c} \exp\left(-\frac{r_c^2}{4\sigma_0^2}\right) dr_c$ (μ)</p>		<p>М.О. ($X_2 - X_1$) = 0 (М.О. — математическое ожидание) $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_0$ а) $\sigma_0 = 0,756 \bar{X}_0$, где $\bar{X}_0 = R_c$</p>
<p>б) через нормированную переменную $t = \frac{r_c}{\sqrt{2} \sigma_0}$, где r_c — возможное значение R_c</p>	<p>б) $f(t) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right)$ (ν) (рис. 15.1, з)</p>	<p>б) $F(t) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \times$ $\times \int_0^t \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt = 2\Phi(t)$ (ξ) $F(t)$ в табл. 4 приложения 1</p>	<p>От 0 до ∞</p>	<p>б) 0 и 1</p>
<p>t-распределение (Стюдента) $t = \frac{\sqrt{n}(\bar{X} - \bar{X}_0)}{s}$ (см. обозначение на стр. 864 и 865)</p>	<p>$\varphi(t) = \frac{1}{\sqrt{\pi k}} \frac{\Gamma\left(\frac{k+1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{k}{2}\right)} \times$ $\times \left(1 + \frac{t^2}{k}\right)^{-\frac{k+1}{2}}$ (π) $\Gamma(x)$ — гамма-функция</p>	<p>$F(t_0) = \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) dt$ (ρ) Значение t_0 для различных k и P в табл. 5 приложения 1</p>	<p>От -∞ до ∞</p>	<p>$k = n - 1$, где n — объем выборки</p>

2. Нормальное распределение, или распределение Гаусса (рис. 15.1, б) наиболее распространено в машиностроении. Экспериментальными данными неоднократно подтверждено, что этому закону следуют с хорошим приближением случайные погрешности измерения, линейные и угловые размеры, шероховатость поверхности, масса деталей, твердость, ряд характеристик механических свойств материалов и металлов (табл. 1, приложение 1).

3. Обобщенное распределение типа А (Грама—Шарлье) заменяет нормальное распределение для таких опытных совокупностей, у которых меры косости и меры крутости велики (стр. 886); обычно наблюдается значительная асимметрия (рис. 15.1, в). Такие отклонения от нормального распределения происходят из-за наличия доминирующей неслучайной величины или различной силы влияния случайных причин. Для определения выравнивающих частот согласно формулам табл. 15.1 можно использовать табл. 2 приложения 1 [5].

4. Логарифмически нормальное распределение (рис. 15.1, г) является распределением таких величин, которые не следуют нормальному закону, но логарифмы которых распределяются по нормальному закону. Подобное распределение приложимо к совокупности числа циклов нагружения при усталостных испытаниях, к потреблению электроэнергии во времени, к некоторым радиотехническим свойствам.

5. Экспоненциальное распределение (рис. 15.1, д) случайной величины X , принимающей лишь неотрицательные значения, приложимо к совокупностям периодов времени автоматического хода станков или агрегатов автоматических линий, к длительности регулировок и подналадок, находящихся в эксплуатации станков или приборов и аппаратов для периодов безотказной работы систем и т. п.

6. Распределение Максвелла (эксцентриситета) случайной величины $R = \sqrt{X^2 + Y^2}$, принимающей только неотрицательные значения, где X и Y — расстояния случайной точки по двум взаимно перпендикулярным осям (распределение независимо и нормально, рис. 15.1, е). Этому закону следуют распределения величин эксцентриситета, несоосности и биения (включая биение зубчатого венца), разностенности (если направление не задано), непараллельности и перпендикулярности двух плоскостей или оси и плоскости, конусности (если плоскость не фиксирована), некоторых радиотехнических свойств (табл. 3 приложения 1).

7. Распределение модуля нормального закона (рис. 15.1, ж) находит применение для совокупностей существенно неотрицательной величины $R_m = |X_1 - X_2|$, где X_1 и X_2 — случайные величины, распределенные по нормальному закону со средними \bar{X}_{01} и \bar{X}_{02} и дисперсиями σ_{01}^2 и σ_{02}^2 . Этому распределению следуют абсолютные (т. е. без учета знака) отклонения в шагах резьб и реек, в угловых величинах, если плоскость отсчета фиксирована, отклонения формы, отклонения положения, как-то: несимметричности, перпендикулярности, непараллельности, разностенности, несоосности и др., если во всех перечисленных случаях измерения производятся в фиксированной плоскости или сечении [4, 15].

8. Распределение нормального модуля упрощенное (распределение некруглости) — частный случай предыдущего распределения, если $\bar{X}_{01} = \bar{X}_{02}$ и равны дисперсии σ случай-

ных величин X_1 и X_2 (рис. 15.1, а). Применяется для описания распределений абсолютной разности линейных и угловых размеров, отклонений формы, а также для геометрических погрешностей, перечисленных в п.7. Техника вычислений по сравнению с указанной в п.7 значительно упрощается; функцию распределения см. в табл. 4 приложения 1 [7—15].

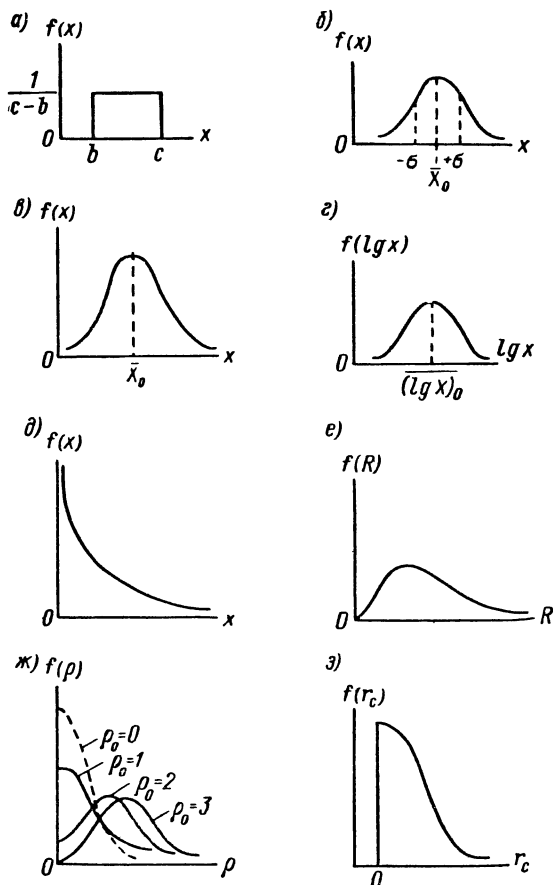


Рис. 15.1

9. *t*-распределение (Стюдента), которое применяют для оценки генеральной средней \bar{X}_0 при известной выборочной (см. главу третью), если опытные данные следуют нормальному закону и объем выборки $n < 30$ (табл. 5, приложение 1).

Все перечисленные выше законы распределения относятся к непрерывным случайным величинам. Для прерывных величин в практике машиностроения (например, для разработки рецептуры приемного контроля) используют чаще всего законы биномиальный и распределения редких событий (4, 7, 12, 19).

Параметры распределения и статистические характеристики

Если известно, что общая совокупность подчиняется определенному закону распределения, то для практического применения, например оценки точности процессов, построения доверительных интервалов и т. п., обычно достаточно ограничиться нахождением статистических характеристик, т. е. оценкой параметров распределения.

П а р а м е т р а м и р а с п р е д е л е н и я называют числовые характеристики, определяемые по теоретическим законам распределения случайной величины X .

С т а т и с т и ч е с к и м и х р а к т е р и с т и к а м и (статистиками) называют числовые характеристики, подсчитанные по наблюдаемым значениям x_i случайной величины X .

Наиболее существенными являются меры положения, меры рассеяния и меры, характеризующие форму кривой распределения.

Меры положения определяют те центральные «точки», около которых концентрируются значения варьирующих величин. Такими мерами являются среднее значение, медиана и мода и соответствующие статистические характеристики: выборочное среднее значение, выборочные медиана и мода.

Выборочное среднее значение при разбивке наблюдений x_i на группы (разряды):

$$\bar{X} = \sum_i \frac{n_i}{N} x_i. \quad (15.1)$$

Значения n_i и N приведены выше (стр. 854).

Если группировка не производится, то подсчет ведется по той же формуле при $n_i = 1$.

Для упрощения вычислений группированных наблюдаемых данных удобно пользоваться формулой

$$\bar{X} = a_0 + \frac{\sum_i n_i (x_i - a_0)}{N}, \quad (15.2)$$

где a_0 — условное начало: любое число, при котором разности $(x_i - a_0)$ получаются малыми по величине и простыми. Обычно a_0 выбирают на глаз (см. пример 2, стр. 873).

Параметр — среднее значение \bar{X}_0 , является теоретическим аналогом выборочного среднего и определяется по формуле, например для непрерывной случайной величины

$$\bar{X}_0 = \int_{-\infty}^{\infty} x f(x) dx,$$

где $f(x)$ — плотность вероятности этой величины.

Выборочной медианой \tilde{X} называют значение x_i , являющееся средним в ряде наблюдаемых величин, упорядоченных по возрастанию или убыванию. Ордината кривой, изображающей плотность распределения, соответствующая теоретической медиане ($x = \tilde{X}_0$), делит площадь под этой кривой на две равные части. Медиану иногда предпочитают среднему при мгновенных выборках (стр. 915) из-за простоты ее определения.

При этом если объем выборки $n = 5$, то \tilde{X} будет третье значение x_i из упорядоченного по возрастанию ряда x_i ; для $n = 7$ соответственно четвертое значение и т. д.

Пример 1. Имеется ряд наблюдений: 49,94; 49,90; 49,98; 49,95; 49,93 мм. Упорядоченный ряд (по возрастанию): 49,90; 49,93; 49,94; 49,95; 49,98; $\tilde{X} = 49,94$ мм. Здесь $\tilde{X} = \bar{X} = 49,94$ мм.

Выборочной модой M_o называют наблюдаемое значение x_i , которое встречается в ряду наблюдений наибольшее число раз. При сгруппированных данных M_o будет являться значение x_i того разряда, который имеет наибольшую частоту n_i . Модой пользуются при хронометраже и для определения наиболее частого уровня настройки станка или прибора.

Теоретической модой M_o является значение абсциссы, в которой кривая, изображающая плотность вероятности, достигает максимума.

Меры рассеяния характеризуют группировку значений варьирующей величины (разброс) около некоторого нулевого значения или относительно меры положения (\bar{X} , \tilde{X} , M_o).

Наиболее употребительной мерой является среднее квадратическое отклонение — теоретическое σ или выборочное s .

При объеме $N \geq 25$ и сгруппированных данных

$$s = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_i n_i (x_i - \bar{X})^2}. \quad (15.3)$$

Для упрощения вычислений применима формула

$$s = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_i n_i (x_i - a_0)^2 - (\bar{X} - a_0)^2}, \quad (15.4)$$

где фигурируют те же величины, что и в формулах (15.1) и (15.2).

При объемах $N \leq 25$ подсчет s следует производить по тем же формулам (15.3) и (15.4) с заменой N на $N - 1$. Схему вычислений s см. в примере 2 (стр. 873).

Теоретическое среднее квадратическое отклонение (параметр) определяется для непрерывных случайных величин формулой

$$\sigma = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} (x - \bar{X}_0)^2 f(x) dx}.$$

Значения σ^2 и s^2 называют дисперсией (теоретической и выборочной).

Размах R применяется для оценки рассеяния по выборкам малого объема (стр. 907) и находится по формуле

$$R = x_{\max} - x_{\min}, \quad (15.5)$$

где x_{\max} и x_{\min} — наибольшее и наименьшее значения из n единиц выборки.

Для полного описания формы кривой, изображающей плотность вероятности, необходимо вычислить частоты (частости) распределения, но для приближенного определения вычисляются меры, характеризующие форму кривой — асимметрия α и эксцесс τ .

Асимметрия характеризует, насколько симметрична кривая, изображающая опытное распределение, а эксцесс — крутизну или плосковершинность кривой. Эти статистические характеристики удобнее вычислять, пользуясь так называемыми моментами распределения, описанными в литературе [10, 15]. В отличие от мер положения или мер рассеяния асимметрия и эксцесс являются отвлеченными числами.

Некоторые значения параметров для законов распределения приведены в табл. 15.2.

Для нахождения оценок параметров ρ_0 и $\sigma(\rho)$ закона модуля нормального закона служит номограмма (рис. 15.2).

Обработка опытных распределений и вероятностная бумага

Данные наблюдений x_i показателей качества или свойств материала (размеров, массы, твердости, оценки по баллам и т. п.) представляют в виде таблиц распределения, где произведена группировка по разрядам. При группировке рекомендуется ограничиваться 7—13 разрядами.

Цена разряда c определяется делением разности между крайними наблюдаемыми значениями ($x_{i \max}$; $x_{i \min}$) на выбранное число разрядов. При этом c не должно быть меньше, чем цена деления измерительного прибора или устройства (глава третья, стр. 438).

По величинам представителей разрядов и частотам (частостям) можно построить опытную кривую — полигон распределения; подобная ломаная кривая показана на рис. 15.3, а. Форма опытной кривой дает известное представление о типе распределения. Если к тому же определить теоретические частоты или частости, пользуясь функцией распределения или таблицами, то можно построить теоретическую (выравненную) кривую плотности вероятности предполагаемого закона распределения, как это представлено тонкой плавной кривой на рис. 15.3, а в предположении нормального закона распределения. Незначительное отклонение формы обеих кривых дает некоторую уверенность в том, что распределение опытной совокупности приближенно следует тому или иному закону распределения. Справа на рис. 15.3, б представлены кривые накопленных частот — опытная по данным столбца 5 табл. 15.3 и теоретическая, (столбец 9), причем последняя изображена тонкой плавной линией.

На рис. 15.3, а B_{cp} — ордината середины поля допуска δ , а величина смещения $\varepsilon = \bar{X} - B_{ap}$.

В приложении 1 (табл. 1—4) приведены некоторые функции распределения. С помощью таблиц можно вычислять теоретические частоты и частости, находить доверительные интервалы, среднее квадратическое отклонение и пр. [12, 15, 19].

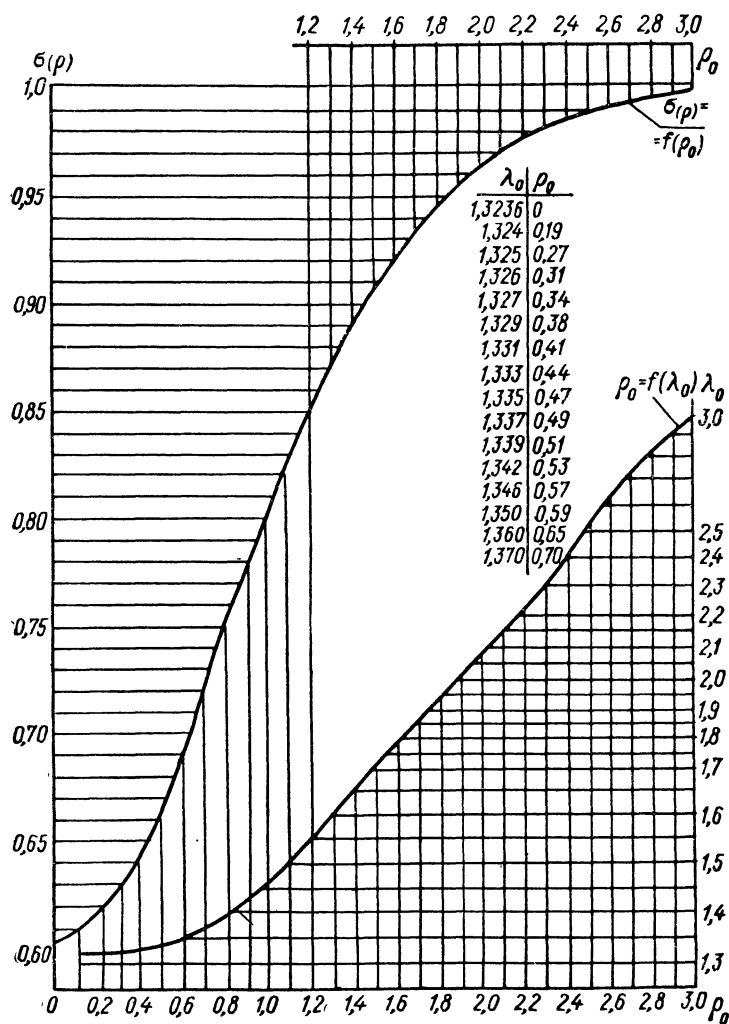


Рис. 15.2

ТАБЛИЦА 15.2

Параметры распределений

Вид распределения	Среднее \bar{X}_0	Среднее квадратическое отклонение σ	Меры, характеризующие форму кривой распределения		Дополнительные параметры
			Асимметрия α_0	Экспесса τ_0	
Равновероятное	$\frac{1}{2}(b+c)$	$\frac{1}{2\sqrt{3}}(c-b)$	0	-1,2	$\bar{X}_0 = M_{00} = \bar{X}_0$
Нормальное	\bar{X}_0	σ	0	0	$\bar{X}_0 = M_{00} = \bar{X}_0$
Обобщенное тип А	\bar{X}_0	σ	Выборочные моменты		—
			$\frac{\mu_3}{\sqrt{\mu_2^3}}$	$\frac{\mu_4}{\mu_2^2} - 3 [5]$	
Логарифмически нормальное	$(\lg X)_0$	$\sqrt{M.O. [\lg x - (\lg X)_0]^2}$	0	0	—
Экспоненциальное	\bar{X}_0	\bar{X}_0	2	6	$\bar{X}_0 = 0,693 \bar{X}_0$ $M_{00} = 0$

Продолжение табл. 15.2

Вид распределения	Среднее \bar{X}_0	Среднее квадратическое отклонение σ	Меры, характеризующие форму кривой распределения		Дополнительные параметры
			Асимметрия α_0	Экцесс τ_0	
Максвелла	$\bar{X} = 1,25\sigma = 1,913\sigma R$	$\sigma = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \bar{X}_0 \approx 0,798 \bar{X}_0$ $\sigma_R = \sqrt{\frac{4}{\pi} - 1} \bar{X}_0 \approx 0,523 \bar{X}_0 \approx 0,655\sigma$	$\sim 0,631$	$\sim 0,245$	$\bar{X}_0 = 1,089 \sqrt{\bar{X}_0}$ $M_0 = \sqrt{\bar{X}_0}$
Модуля нормального закона	$\bar{X}_0(\rho) = \frac{1}{\sigma_0} \bar{X}_0(r)$, где $\bar{X}_0(r)$ — параметр распределения $[R_M]$: $\bar{X}_0(r)$; $\sigma(r)$. Нормированное среднее $\lambda_0 = \frac{\bar{X}_0(r)}{\sigma(r)} = \frac{v_1}{\sqrt{m_2}}$	О значениях σ и σ_R см. табл. 15.1 $\sigma(\rho) = \frac{1}{\sigma_0} \sigma(r)$ Значение σ_0 приведено в табл. 15.1. Значение ρ_0 в зависимости от λ_0 и значение $\sigma(\rho)$ в зависимости от (ρ_0) см. на рис. 15.2	По моментам функции распределения [4]; см. также формулы для α_0 и τ_0 , приведенные выше для распределения типа А		—
Нормального модуля упрощенное	$R_c = \bar{X}_0 = 1,322\sigma$	$\sigma = 0,756 \bar{X}_0$	0,9944	0,8692	Моменты распределения в [15]
t-распределение	0 при $k \geq 2$; $k = n - 1$; где n — объем выборки	$s = \sqrt{\frac{k}{k-2}}$ при $k \geq 3$	0 при $k \geq 4$	$\frac{6}{k-4}$ при $k \geq 5$	—

Вычисление статистических характеристик \bar{X} и s облегчается благодаря применению схемы, поясняемой примером 2.

Вероятностная бумага значительно ускоряет процесс нахождения \bar{X} и s с точностью, допустимой для многих случаев машиностроительной практики.

В приложении 1 на стр. 954—958 подобная бумага представлена для пяти законов распределения: нормального (лист 1), равномерного (лист 2), Максвелла (лист 3), упрощенного модуля нормаль-

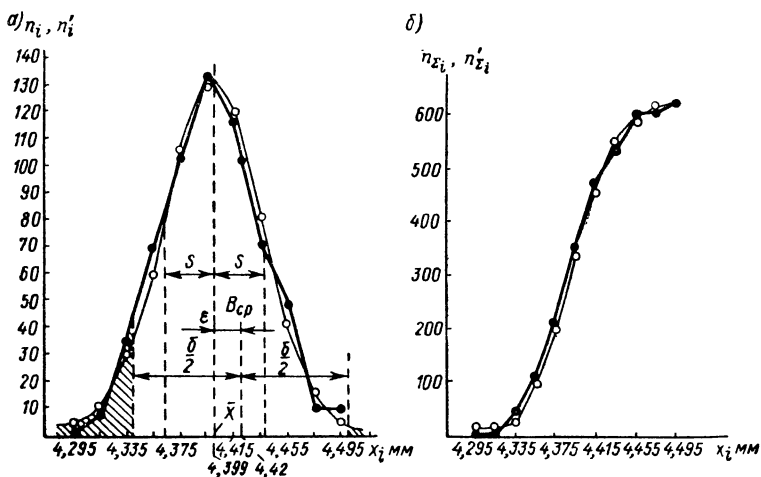


Рис. 15.3

ного закона (лист 4) и экспоненциального (лист 5). На шкале ординат бумаги нанесены значения вероятностей, отвечающие функции распределения. На шкале x_i абсцисс, равномерной для всех указанных выше законов распределения, наносятся значения верхнего предела разряда x_i'' сгруппированных наблюдаемых данных. Затем на пересечении линии, проведенной от соответствующего значения $x_i = x_i''$, и линии, проведенной от точки на оси ординат, соответствующей накопленной частоте $N_i(x)\%$, наносится точка. Таким образом определяются точки по всем разрядам наблюдаемых данных, кроме последнего ($N_i = 100\%$), и по ним строится ломаная линия. Если опытная совокупность отвечает закону распределения, для которого построена вероятностная бумага, то ломаная линия будет близка к прямой. Для сравнения на бумаге проводится прямая, изображающая теоретические накопленные частоты (в %) распределения, таким образом, чтобы опытные точки располагались примерно равномерно по обе стороны. При незначительном отклонении опытных и теоретических точек нет очевидного противоречия в предположении о принятом законе распределения (большие отклонения допустимы лишь для точек крайних

ТАБЛИЦА 15.3

Распределение размеров деталей
(наружный диаметр 4,5—0,16)

№ разряда	Разряды $x_i - x_i'$ (размеры деталей в мм)	Представители разряда в мм (среднее разряда x_i)	Распределение экземпляров в опытной совокупности (количество деталей по разрядам)				Распределение деталей в теоретической со- вокупности	
			Частота (абсо- лютное значение) m_i	Накопленная ча- стота (нарастаю- щий итог) $n_{\Sigma i}$	Частость (в % от общего коли- чества) n_i %	Накопленная ча- стость в % $N_i(x)$ %	Частота n_i'	Накопленная ча- стота $n_{\Sigma i}'$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	4,285—4,305	4,295	1	1	0,16	0,16	4	4
2	4,305—4,325	4,315	9	10	1,47	1,63	10	14
3	4,325—4,345	4,335	35	45	5,72	7,35	31	45
4	4,345—4,365	4,355	70	115	11,44	18,79	65	110
5	4,365—4,385	4,375	104	219	17,00	35,79	106	216
6	4,385—4,405	4,395	133	352	21,73	57,52	130	346
7	4,405—4,425	4,415	118	470	19,23	76,80	119	465
8	4,425—4,445	4,435	71	541	11,60	88,40	82	547
9	4,445—4,465	4,455	50	591	8,17	96,57	43	590
10	4,465—4,485	4,475	11	602	1,80	98,37	16	606
11	4,485—4,505	4,495	10	612	1,63	100,00	6	612
Сумма			$N =$ 612	—	100%	—	612	—

разрядов). На листах 2 и 3 приложения 2 нанесены линии по значениям $N_i(x)$, %, наблюдаемых линейных размеров, а на листе 5 — время автоматического хода станка.

Для нахождения приближенных величин выборочного среднего \bar{X} и выборочного среднего квадратического отклонения s проведены на листах 1—5 параллельно оси абсцисс линии от указанных в табл. 15.4 значений вероятности на шкале ординат $F(x)\%$. В точках пересечения этих линий с опытной линией частостей необходимо опустить перпендикуляры на линию абсцисс, прочитав значение в масштабе опытных данных x_i . Тогда величина \bar{X} непосредственно читается по шкале абсцисс, а величина s находится как разность между прочитанным по шкале абсцисс значением $x_i = \bar{X} + s$ и ранее определенной величиной \bar{X} , что справедливо для двухпараметрических законов — нормального и равномерного. Бумага для логарифмически нормального закона

ТАБЛИЦА 15.4

Значения $F(x)$ в % на шкале ординат вероятностной бумаги [7]

Закон распределения	Приложение 2, лист №	Значения $F(x)$ для отыскания			
		\bar{X}	s	при усреднении	
				$\bar{X} + s$	$\bar{X} - s$
Нормальный	1	50	—	84,1	15,87
Равновероятный	2	50	78,87	78,87	21,13
Для существенно неотрицательных случайных величин				2s	3s
Максвелла	3	54,4	19,35	57,7	85,46
Упрощенного модуля нормального закона	4	57,6	45,3	77,17	92,93
Экспоненциальный	5	63,25	63,25	87,3	95,0

распределения имеет ту же шкалу ординат и, следовательно, линии \bar{X} , $\bar{X} + s$ и $\bar{X} - s$ те же, что и обычная нормальная бумага. Различие в том, что на шкале абсцисс отложена шкала логарифмов [см. лист 2, 14, 15]. Для законов распределения существенно неотрицательных величин (табл. 15.4) достаточно определить либо \bar{X} , либо s , причем последнее находится так же, как \bar{X} , т. е. непосредственно на шкале абсцисс (нуль — нижняя граница наблюдаемых значений X_i).

По опыту оказалось целесообразным в большинстве случаев находить значения \bar{X} и s усреднением согласно формулам, нанесенным в листах 1—5 (стр. 954—958), и значения $F(x)$ в двух последних столбцах табл. 15.4.

Величины, определенные по бумаге приложения 1 (над чертой) и вычисленные по сгруппированному данным (под чертой) оказались следующими [7].

Законы распределения	\bar{X}	\bar{s}
Равновероятный (лист 2) в мм	$\frac{29,9937}{29,994}$	$\frac{0,0029}{0,0030}$
Максвелла (лист 3) в мкм	—	$\frac{8,7}{8,9}$
Экспоненциальный (лист 5) в мин	$\frac{37,40}{34,86}$	—

Иногда в начальных разрядах статистической сводки распределений существенно неотрицательных величин линия опытных частостей оказывается смещенной вправо от нуля вероятностной бумаги, что потребует корректировки величин \bar{X} ($\bar{X}_{\text{кор}}$) и мер точности, производных от x (стр. 885).

В первом приближении поправка может быть определена по формулам (табл. 15.2) для распределения Максвелла ¹

$$\bar{X}_{\text{кор}} = \bar{X} - 1,913s_R = \bar{X} - b \quad (15.6)$$

и для распределения нормального модуля упрощенного

$$\bar{X}_{\text{кор}} = \bar{X} - 1,322s = \bar{X} - b. \quad (15.7)$$

Пример 2. В табл. 15.3 систематизированы данные опытной совокупности объемом $N = 612$ экз., сгруппированные в 11 разрядов.

В нашем примере цена разряда $c = 0,02$ мм. В 1-й разряд вносят все данные, имеющие значение x_k меньше, чем наибольший предел разряда x_1 (табл. 15.3, столбец 2, x_i''), а само значение $x_i = x_1$ вносится во 2-й разряд и т. д.

Все наблюдаемые значения одного разряда вносятся в столбец 4. Столбцы 3, 5, 6 и 7 не требуют пояснения.

В столбцах 8 и 9 приведены теоретические значения частоты, которые нетрудно вычислить, руководствуясь литературой [4, 10, 12, 15, 19]; при использовании вероятностной бумаги эти вычисления не нужны.

По данным табл. 15.3, вычислим статистические характеристики — выборочное среднее \bar{X} и выборочное среднее квадратическое отклонение s .

При использовании схемы по табл. 15.5 упрощаются вычисления. Столбцы 1 и 2 этой таблицы заполняются данными из столбцов 3 и 4 табл. 15.3. За условное начало a_0 (стр. 864) принимается представитель 6-го разряда ($x_i = 4,395$) как наиболее близкий к возможному выборочному среднему. Заполнение столбцов 3, 4 и 5 (табл. 15.5) ясно из таблицы. Значения Σ^- и Σ^+ в столбце 4 получаются суммированием отдельно отрицательных и положительных величин, а итоговая сумма Σ (2,28) находится сложением сумм Σ^- и Σ^+ (10,08 — 7,80). Столбец 6. служит для проверки вычислений (необязателен).

По итогам табл. 15.5 и согласно формулам (15.2) и (15.4) находим

$$\bar{X} = a_0 + \frac{\Sigma 4}{N} = 4,395 + \frac{2,28}{612} = 4,399 \text{ мм}; \quad (a)$$

$$\begin{aligned} s &= \sqrt{\frac{1}{N} \Sigma 5 - (\bar{X} - a_0)^2} = \\ &= \sqrt{\frac{1}{612} \cdot 0,8584 - (4,399 - 4,395)^2} = 0,037 \text{ мм}. \end{aligned} \quad (b)$$

Суммы $\Sigma 4$ и $\Sigma 5$ означают итоги столбцов 4 и 5 табл. 15.5.

¹ Точные формулы, обобщающие этот закон распределения, получены проф. А. С. Шевелевым [18].

ТАБЛИЦА 15.5

Схема вычисления \bar{X} и s

x_i	n_i	$x_i - a_0$	$n_i (x_i - a_0)$	$n (x_i - a_0)^2$	$\frac{n (x_i - a_0 + 1)^2}{2}$
1	2	3	4	5	6
4,295	1	-0,100	-0,10	0,0100	0,810
4,315	9	-0,080	-0,72	0,0576	7,618
4,335	35	-0,060	-2,10	0,1260	30,926
4,355	70	-0,040	-2,80	0,1120	64,512
4,375	104	-0,020	-2,08	0,0416	99,882
$a_0 = 4,395$	133	0	$ \Sigma^- = -7,80 $	0	133,000
4,415	118	0,020	2,36	0,0472	122,767
4,435	71	0,040	2,84	0,1136	76,794
4,455	50	0,060	3,00	0,1800	56,180
4,475	11	0,080	0,88	0,0704	12,830
4,495	10	0,100	1,00	0,1000	12,100
—	$N = 612$	—	$ \Sigma^+ = 10,08 $ $\Sigma = 2,28$	0,8584	617,419

Проверка вычисления производится по итогу столбца 6:

$$\sum 6 = N + \sum 5 + 2 \sum 4; \quad \sum 6 = 617,419. \quad (c)$$

По формуле (с) $\sum 6 = 612 + 0,8584 + 2 \cdot 2,28 = 617,418$, что подтверждает правильность вычислений.

С помощью вероятностной бумаги нормального закона (лист 1, стр. 954) можно проверить непротиворечивость предположения о том, что опытное распределение табл. 15.3 отвечает нормальному закону, а затем отыскивать выборочные \bar{X} и s . Это предположение оправдывается. Найденные с помощью вероятностной бумаги \bar{X} и s точно совпадают с приведенным выше вычислением [14,15].

Понятия о статистических гипотезах, несмещенных оценках и доверительных интервалах

Проверка статистической гипотезы означает выяснение методами математической статистики согласия того или иного предположения (гипотезы) с опытом. Предположение формулируется как нулевая гипотеза (H_0). Она оценивается по уровню существенности, обычно малой вероятности P_0 . Гипотеза отвергается, если вероятность оказывается меньше, чем P_0 . Принимают $P_0 = 0,05$ (5%), реже $P_0 = 0,1$ (10%), а для ответственных оценок $P_0 = 0,01$ и даже 0,001.

Проверка гипотезы H_0 связана с выбором критерия (правила) проверки. Принятие гипотезы означает лишь то, что она не находится в грубом противоречии с наблюдаемыми значениями.

При решении вопроса о том, принять или отвергнуть гипотезу H_0 , возможна одна из следующих ошибок:

а) отвергается гипотеза H_0 , когда она верна. Ошибка называется ошибкой первого рода (риск поставщика α или ошибка производителя при контроле продукции);

б) принимается гипотеза H_0 , когда она неверна. Ошибка называется ошибкой второго рода (риск потребителя β).

Ошибки оцениваются количественно своими вероятностями, причем вероятность ошибки первого рода равна уровню существенности.

Применение теории гипотез к оценке измерений приведено в главе третьей.

Гипотезой H_0 является, например, предположение о том, что общая совокупность, из которой взята выборка, подчиняется данному закону распределения. Критерием согласия называют правило оценки этого предположения.

Критерий χ^2 (хи-квадрат) достаточно распространен на практике. Наблюдаемое значение χ^2 подсчитывается по формуле

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^m \left[\frac{(n_i'' - n_i)^2}{n_i''} \right], \quad (15.8)$$

где n_i'' — теоретические частоты; n_i — опытные частоты; m — число разрядов.

Для того чтобы гипотеза H_0 была отвергнута, должно быть

$$\chi^2 > \chi_0^2. \quad (15.9)$$

Теоретическое значение χ_0^2 берется по таблицам [1, 10, 15], а для уровня существенности $P = 0,05$ — по данным, приведенным ниже.

k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
χ_0^2	3,84	5,99	7,82	9,49	11,07	12,59	14,07	15,51	16,92	18,31
k	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
χ_0^2	19,68	21,03	22,36	23,68	25,00	26,30	27,59	28,87	30,14	31,41

Здесь (и в других таблицах) k — число степеней свободы; $k = m - f - 1$, где f — число оцениваемых параметров закона распределения (см. табл. 1.1).

Если найденное значение χ^2 оказывается меньше, чем χ_0^2 , то гипотеза H_0 не отвергается, т. е. нет заметного противоречия в предположении об определенном законе распределения.

Практические расчеты выполняются по опытным данным, т. е. по статистическим характеристикам. Эти характеристики называются *несмещенными оценками* [9], если их среднее значение при любом объеме выборки равно соответствующему параметру распределения. Такой оценкой параметра \bar{X}_0 служит выборочное среднее \bar{X} .

Но любая оценка в свою очередь имеет погрешность как функцию некоторого среднего квадратического отклонения [9].

Среднее квадратическое отклонение выборочного среднего \bar{X}

$$\sigma_{\bar{X}} = \frac{\sigma}{\sqrt{N}},$$

где σ — среднее квадратическое отклонение случайной величины X .

Аналогичное отклонение выборочной медианы \tilde{X}

$$\sigma_{\tilde{X}} = 1,2533 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}.$$

Так как обычно σ неизвестно, то его заменяют s из опытных данных. Среднее квадратическое отклонение выборочного значения s

$$\sigma_s = \frac{\sigma}{\sqrt{2N}} \approx 0,707 \sigma_{\bar{X}}.$$

Эта формула справедлива только для нормального закона распределения случайной величины x .

Доверительными интервалами называют граничные значения статистических характеристик, которые с заданной вероятностью P заключают неизвестные значения параметров.

Интервалы, внутри которых можно ожидать нахождения теоретического среднего \bar{X}_0 при заданной вероятности, часто определяются как $\bar{X} \pm t \sigma_{\bar{X}}$, где t — квантиль, зависит от закона распределения X . Для нормального закона и объема выборочной совокупности, большей чем 25 экз., обычно принимают $t = 3$, причем заданная вероятность равна 0,9973. Предельные интервалы, содержащие с заданной вероятностью P все значения x_i случайной величины X , могут быть также определены как $\bar{X} \pm ts$ [4,19].

Значение функции $\Phi(t)$, приведенное в табл. 1 приложения 1, позволяет найти доверительные интервалы для нормального закона, а в табл. 5 (приложение 1) — для функции распределения Стьюдента. В этой таблице, используемой для доверительных интервалов \bar{X}_0 , $k = N - 1$ — число степеней свободы, $P(t_0)$ — вероятность. Пример пользования табл. 2 приложения 2 для определения доверительных границ \bar{X}_0 приведен в главе третьей (стр. 457).

В табл. 15.6 приведены значения t для некоторых законов распределения.

Пример 3. Установить предельные границы для наблюдаемых значений x_i примера 1 в предположении, что опытные данные распределяются: а) нормально; б) равномерно; в) в случае, если закон распределения неизвестен, но симметричный и одновершинный.

Примем $P = 0,95$; $S = 0,037$ мм приравниваем неизвестному значению параметра σ .

Согласно табл. 15.6 найдем для указанных условий:

$$а) \bar{X} \pm 1,96 \cdot 0,037 = \bar{X} \pm 0,072 \text{ мм};$$

$$б) \bar{X} \pm 1,65 \cdot 0,037 = \bar{X} \pm 0,061 \text{ мм};$$

$$в) \bar{X} \pm 2,98 \cdot 0,037 = \bar{X} \pm 0,104 \text{ мм}.$$

ТАБЛИЦА 15.6

Значения t

Вид распределения	t	Вероятность P			
		0,95	0,98	0,99	0,9973
		Численное значение $t_{пр}$			
Равновероятное	$\frac{X - \bar{X}_0}{\sigma}$	1,65	1,70	1,71	1,73
Нормальное	$\frac{X - \bar{X}_0}{\sigma}$	1,96	2,33	2,58	3,00
Логарифмически нормальное	$\frac{X - (\lg X)_0}{\sigma}$	1,96	2,33	2,58	3,00
Экспоненциальное	$\frac{X}{\bar{X}_0}$	3,00	3,91	4,61	5,91
Максвелла	$\left\{ \begin{array}{l} \frac{R}{\sigma} \\ \frac{R}{\sigma_R} \end{array} \right.$	2,45	2,80	3,40	3,44
		3,73	4,27	4,63	5,25
Модуля нормального закона для $\rho_0 = 1$ » $\rho_0 = 2$ » $\rho_0 = 3$	$t_1 = (\rho - \rho_0)$	2,65	3,05	3,35	3,80
	$t_2 = (\rho + \rho_0)$	3,65	4,05	5,35	4,80
		4,70	5,10	5,35	5,58
t -распределение (Стьюдента) $n = 15$ $n = 10$ $n = 5$		2,14	2,62	2,98	3,49
		2,26	2,82	3,25	4,02
		2,78	2,75	4,60	6,44
Закон распределения любой симметричный ($M_{00} = \bar{X}_0$) и одновершинный (оценка по Чебышеву—Гауссу)	$\frac{X - \bar{X}_0}{\sigma}$	2,98	4,71	6,66	12,83

Примечание. Предельные ($t_{пр}$) и доверительные интервалы для законов распределения экспоненциального, Максвелла и модуля нормального закона берутся от начала координат ($x = 0$), а для остальных законов от $x = \bar{X}$.

3. АНАЛИЗ СТАТИСТИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ

Общие сведения и определения

В технологической практике при испытаниях, статистическом анализе и контроле часто требуется установить наличие взаимосвязи между признаками качества, свойствами материала, техническими факторами и т. п., причем функциональная связь в этих случаях отсутствует.

Одним из наиболее эффективных методов в математической статистике является корреляционный анализ, который

позволяет разрешать вопросы о силе или тесноте связи между случайными величинами, о форме связи — линейной или нелинейной, а при достаточной тесноте связи вывести уравнение связи.

Предположение о наличии связи должно основываться на знании природы явления, свойства материала или технологии. Для изучения связи между случайными величинами X и Y необходимо располагать совокупностью пар наблюдаемых значений x_i и y_i .

Техника вычислений

Составляется корреляционная сводка подобно табл. 15.7, где для простоты наблюдаемые значения x_i и y_i обозначены порядковыми номерами (как при оценке качества по баллам)¹. Число наблюдений, как правило, следует выбирать не менее 50—60. Столбец 7 содержит частоты n_x наблюдаемых значений случайной переменной X , а последняя строка — частоты n_y значений переменной Y .

ТАБЛИЦА 15.7

Наблюдаемые значения x_i и y_i (частоты n_{xy}) в совокупности объема $N = 15$

x_i	y_i					n_x
	1	2	3	4	5	
1	2	3	4	5	6	7
1	1	2	1	—	—	4
2	—	1	2	1	—	4
3	—	—	1	2	1	4
4	—	—	—	1	2	3
n_y	1	3	4	4	3	$N = 15$

Если наблюдаемые значения расположились в таблице так, что они как бы сгруппировались вдоль любой из диагоналей, то можно ожидать наличия корреляционной связи. Теснота линейной связи, имеющая место при распределениях (X и Y) по нормальному закону и наблюдающаяся на практике часто и при других типах распределения, определяется по выборочному коэффициенту корреляции

$$r_k = \frac{C_{xy}}{s_x s_y}, \quad (15.10)$$

¹ Если данные наблюдений сгруппированы, то x_i и y_i — представители разрядов.

где s_x и s_y — выборочные средние квадратические отклонения величин x_i и y_i , а C_{xy} , называемая ковариацией, определяется формулой

$$C_{xy} = \frac{\sum_{xy} n_{xy}xy}{N} - \bar{X}\bar{Y}. \quad (15.11)$$

Числитель первого члена формулы (15.11) представляет сумму произведений значений x_i и y_i на соответствующие частоты n_{xy} , обведенные рамкой в табл. 15.7, а \bar{X} и \bar{Y} — выборочные средние, которые вычисляются по формуле (15.1) или (15.2).

Значения отклонений s_y и s_x удобно вычислять по формулам

$$s_y = \sqrt{\frac{\sum n_y y_i^2}{N} - \bar{Y}^2}, \quad (15.12)$$

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum n_x x_i^2}{N} - \bar{X}^2}, \quad (15.13)$$

где n_x и n_y — частоты (табл. 15.7); $N = \sum n_x = \sum n_y$.

Вычисления r_k проще вести по схеме табл. 15.8 (пример 4), а при больших N — по способу моментов [10, 15].

В случае положительной корреляции (т. е. y_i возрастает с увеличением x_i) $r_k \geq 0$, а в случае отрицательной корреляции $r_k < 0$. Пределы $-1 \leq r_k \leq +1$. Чем ближе к единице значение r_k , тем теснее линейная связь между наблюдаемыми величинами y_i и x_i , и при $|r_k| = 1$ она становится функциональной. Если же r_k равен нулю, то линейная корреляционная связь отсутствует, но нелинейная может иметь место.

Пример 4. Вычислить коэффициент корреляции r_k для данных табл. 15.7. Ход вычислений сведен в табл. 15.8, где данные столбцов 1—4 перенесены из соответствующих столбцов и строк табл. 15.7.

ТАБЛИЦА 15.8

Вычисление r_k

y_i	n_y	x_i	n_x	Сумма по строкам y_i	$\sum n_{xy}xy$ $y(1) \cdot (5)$	Сумма по строкам x_i	$\sum n_{xy}xy$ $x(3) \cdot (7)$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	1	4	1	1	8	8
2	3	2	4	4	8	12	24
3	4	3	4	8	24	16	48
4	4	4	3	12	48	14	56
5	3	—	—	11	55	—	—
—	15	—	15	36	136	50	136
—	N	—	N	—	$\sum n_{xy}xy$	—	$\sum n_{xy}xy$

Столбец 5 табл. 15.8 получается из сумм произведений частот n_{xy} табл. 15.7 строка y_i на соответствующие значения x_i . Например, для строка $y_i = 1$ получим: $1 \cdot 1 = 1$; для строка $y_i = 2$ получим: $2 \cdot 1 + 1 \cdot 2 = 4$; для строка $y_i = 3$: $1 \cdot 1 + 2 \cdot 2 + 1 \cdot 3 = 8$ и т. д.

Столбец 6 табл. 15.8 составляется из произведений сумм по строкам y_i , т. е. данных столбца 5, на соответствующее значение y_i столбца 1; например: $1 = 1 \cdot 1$; $8 = 4 \cdot 2$ и т. д. Столбец 7 заполняется аналогично столбцу 5, но по строкам x_i , а столбец 8 — аналогично столбцу 6, т. е. умножением цифр столбца 7 на значения x_i столбца 3.

Суммы столбцов 6 и 8 должны быть одинаковыми (136), так как они являются числителем дроби формулы (15.11).

Затем находят по суммам столбцов 5 и 7:

$$\bar{X} = \frac{\sum 5}{N} = \frac{36}{15} = 2,40; \quad (a)$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum 7}{N} = \frac{50}{15} = 3,33. \quad (b)$$

По формуле (15.11) получим (учитывая сумму столбца 6 или 8)

$$C_{xy} = \frac{136}{15} - 2,40 \cdot 3,33 = 1,075. \quad (c)$$

Для вычисления s_y и s_x составлены табл. 15.9 и табл. 15.10. Из сумм последних столбцов этих таблиц с учетом формул (a), (b) и (15.12), (15.13) получим:

$$s_y = \sqrt{\frac{188}{15} - (3,33)^2} = \sqrt{12,5333 - 11,0889} = 1,202; \quad (d)$$

$$s_x = \sqrt{\frac{104}{15} - (2,40)^2} = \sqrt{6,9333 - 5,7600} = 1,083. \quad (e)$$

ТАБЛИЦА 15.9

Вычисления для s_y

y_i	n_y	$n_y y_i$	$n_y y_i^2$
1	1	1	1
2	3	6	12
3	4	12	36
4	4	16	64
5	3	15	75
Σ	15	50	188

ТАБЛИЦА 15.10

Вычисления для s_x

x_i	n_x	$n_x x_i$	$n_x x_i^2$
1	4	4	4
2	4	8	16
3	4	12	36
4	3	12	48
Σ	15	36	104

Наконец, согласно формуле (15.10) по величинам, найденным в (с), (d) и (е), находим коэффициент корреляции

$$r_k = \frac{1,075}{1,083 \cdot 1,202} = \frac{1,075}{1,302} = 0,826. \quad (f)$$

Величина r_k оказалась значительной, что указывает на тесную линейную связь между наблюдаемыми значениями x_i и y_i .

Для оценки формы нелинейной связи служит корреляционное отношение, которое независимо от формы связи всегда должно быть больше, чем r_k [4, 7, 10].

Уравнения линейной корреляционной связи можно записать (в форме, удобной для вычислений) в двух видах:

уравнение связи y_i с x_i

$$\bar{Y}_x = r_k \frac{s_y}{s_x} x + \left(\bar{Y} - r_k \frac{s_y}{s_x} \bar{X} \right); \quad (15.14)$$

уравнение связи x_i с y_i

$$\bar{X}_y = r_k \frac{s_x}{s_y} y + \left(\bar{X} - r_k \frac{s_x}{s_y} \bar{Y} \right). \quad (15.15)$$

Пример 5. Вывести уравнение линейной корреляционной связи между y_i и x_i для данных примера 4.

Подставляя ранее полученные величины в формулу (15.14), получим

$$\begin{aligned} \bar{Y}_x &= 0,8256 \frac{1,202}{1,083} x_i + \left(3,33 - 0,826 \frac{1,202}{1,083} 2,40 \right) = \\ &= 0,916x_i + 1,131. \end{aligned}$$

Реальность выборочного коэффициента корреляции r_k можно установить по различным критериям [4, 10, 12, 15]. При выборках из нормальных совокупностей приближенной оценкой является сопоставление r_k с критическим значением r_0 , приведенным в табл. 6 приложения 1 для различных вероятностей P и для $k = N - 2$. Гипотеза H_0 (стр. 874), заключающаяся в том, что $r_0 = 0$, отвергается, если r_k больше, чем r_0 .

Так, для значения $r_k = 0,826$ примера 5 критическая величина $r_0 = 0,76$ для очень малой вероятности $P = 0,001$ и $k = n_x - 2 = n_y - 2 = 15 - 2 = 13$. Реальность выборочного коэффициента корреляции не является противоречивой, так как r_0 меньше r_k , и гипотеза H_0 отвергается с очень малым риском ошибочного заключения.

Корреляция при малом числе наблюдаемых значений имеет важное значение для машиностроения при трудоемких или дорогостоящих испытаниях, измерениях или экспериментах. Рекомендующий ниже способ может применяться, если, исходя из природы явления, есть уверенность в наличии (или отсутствии) связи при нормальном законе распределения наблюдаемых данных, количество которых не должно быть все же менее 10.

Вычисления для нахождения

N_0 (n)	x_1	x_2	$\Delta x_1 = x_1 -$ $-\bar{X}_1$	$\Delta x_2 = x_2 -$ $-\bar{X}_2$	$(\Delta x_1)^2$
1	2	3	4	5	6
1	25	9,1	-1,6	-1,2	2,56
2	25	9,7	-1,6	-0,6	2,56
3	26	10,0	-0,6	-0,3	0,36
4	26	10,1	-0,6	-0,2	0,36
5	26	10,3	-0,6	0,0	0,36
6	26	10,4	-0,6	0,1	0,36
7	28	10,0	1,4	-0,3	1,96
8	28	10,3	1,4	0,0	1,96
9	28	11,3	1,4	1,0	1,96
$n = 10$	28	11,4	1,4	1,1	1,96
Σ^-	—	—	-5,6	-2,6	—
Σ^+	—	—	5,6	2,2	—
Σ	266	102,6	0,0	-0,4	14,41

$$I. \quad \bar{X}_1 = \frac{\Sigma 2}{n} = \frac{266}{10} = 26,6 \quad (a)$$

$$\bar{X}_2 = \frac{\Sigma 3}{n} = \frac{102,6}{10} = 10,26 \quad (b)$$

II. Проверка 1-я:

$$\left. \begin{aligned} \Sigma 4 - \Sigma 5 &= \Sigma 9 \\ 0,0 - (-0,4) &= +0,4 \end{aligned} \right\} \quad (c)$$

$$v_{1/0} = \frac{\Sigma 4}{n} = 0,0 \quad (d)$$

$$v_{0/1} = \frac{\Sigma 5}{n} = \frac{-0,4}{10} = -0,04 \quad (e)$$

$$v_{2/0} = \frac{\Sigma 6}{n} = \frac{14,41}{10} = 1,441 \quad (f)$$

$$v_{0/2} = \frac{\Sigma 7}{n} = \frac{4,24}{10} = 0,424 \quad (g)$$

$$v_{1/1} = \frac{\Sigma 8}{n} = \frac{5,64}{10} = 0,564 \quad (h)$$

ТАБЛИЦА 15.11

связи между x_1 и x_2 (к примеру 6)

$(\Delta x_2)^2$	$\Delta x_1 \Delta x_2$	$\Delta x_1 - \Delta x_2$	$(\Delta x_1 - \Delta x_2)^2$	$\Delta x_1 + \Delta x_2$	$(\Delta x_1 + \Delta x_2)^2$
7	8	9	10	11	12
1,44	1,92	-0,4	0,16	-2,8	7,84
0,36	0,96	-1,0	1,00	-2,2	4,84
0,09	0,18	-0,3	0,09	-0,9	0,81
0,04	0,12	-0,4	0,16	-0,8	0,64
0,00	0,00	-0,6	0,36	-0,6	0,36
0,01	-0,06	-0,7	0,49	-0,5	0,25
0,09	-0,42	1,7	2,89	1,1	1,21
0,00	0,00	1,4	1,96	1,4	1,96
1,00	1,40	0,4	0,16	2,4	5,76
1,21	1,54	0,3	0,09	2,5	6,25
—	-0,48	-3,4	—	—	—
—	6,12	3,8	—	—	—
4,24	5,64	0,4	7,37	—	29,92

$$v_{2/(-)} = \frac{\sum 10}{n} = \frac{7,37}{10} = 0,737 \quad (i)$$

Проверка 2-я:

$$\left. \begin{aligned} v_{2/0} &= 1,441 \\ v_{0/2} &= 0,424 \\ -2v_{1/1} &= -1,128 \\ \hline &= v_{2/(-)} = 0,737 \end{aligned} \right\} \quad (j)$$

$$\text{III. } \mu_{2/0} = v_{2/0} - v_{1/0}^2 = 1,441 - 0 = 1,441 \quad (k)$$

$$\mu_{0/2} = v_{0/2} - v_{0/1}^2 = 0,424 - (-0,04)^2 = 0,4224 \quad (l)$$

$$s_1 = \sqrt{\mu_{2/0}} = \sqrt{1,441} = 1,20 \quad (m)$$

$$s_2 = \sqrt{\mu_{0/2}} = \sqrt{0,4224} = 0,6499 \quad (n)$$

$$\mu_{1/1} = v_{1/1} - v_{1/0}v_{0/1} = 0,564 - 0 \cdot (-0,04) = 0,564 \quad (o)$$

$$r_K = \frac{\mu_{1/1}}{s_1 s_2} = \frac{0,564}{1,2 \cdot 0,6499} = 0,723 \quad (p)$$

Пример 6. Проверить предположение о наличии связи между относительным удлинением в % (x_1) и разрывной прочностью в кгс/мм² (x_2) пластмассы¹.

Ход вычислений ясен из табл. 15.11. Применены моменты производений.

Если корреляция отрицательная ($r_k < 0$), то для второй проверки удобнее использовать вместо формулы (j) следующую:

$$v_{2/(+)} = v_{2/0} + v_{0/2} + 2v_{1/1}. \quad (j')$$

Момент разности $v_{2/(-)}$ (i), который должен совпадать с итогом проверки по формуле (j) табл. 15.11, в формуле (j') замещается моментом суммы $v_{2/(+)}$, а последний

$$v_{2/(+)} = \frac{\sum 12}{n}.$$

Полученное значение $r_k = 0,723$ (табл. 15.11) указывает на довольно тесную связь между x_1 и x_2 , причем, по-видимому, реальную, так как оно близко к $r_0 = 0,74$ для $P = 0,01$ и $k = 10 - 2 = 8$ ($n = 10$) согласно табл. 6 приложения 1.

Корреляционное уравнение находится по предыдущему и оно для связи x_2 с x_1 оказывается следующим:

$$x_2 = (0,3916x_1 - 0,156) \text{ кгс/мм}^2.$$

4. АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ, СТАБИЛЬНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Технологическая точность процессов — степень соответствия результатов процесса (размеров деталей, твердости и т. п.) заданным показателям качества (допускам, пределам).

Под стабильностью технологической операции следует понимать постоянство во времени оценок параметров распределения изучаемого показателя качества.

Под устойчивостью технологической операции следует понимать свойство процесса сохранять точность показателей качества во времени течения процесса без остановки последнего. При этом обеспечивается стабильность оценок параметров, т. е. статистических характеристик показателей качества.

Точность, стабильность и устойчивость процесса оцениваются статистически.

Статистической оценке качества процессов должно предшествовать выявление на основе имеющихся данных (количество брака, простои и пр.) основных недочетов хода процесса и его результатов, качества заготовок, технологической оснастки, инструмента и т. д.

Статистический анализ производится различными методами, из которых рассмотрим два, наиболее доступные на производстве.

Метод единовременных выборок (стр. 854) заключается в единовременном отборе 50—200 экз. изготовленных деталей и их измерении или испытании (п. 1, стр. 853). Производится ста-

¹ По системе единиц СИ $1 \text{ кгс/см}^2 = 0,980665 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$.

статистическая обработка данных, и находится выборочное среднее \bar{X} и среднее квадратическое отклонение s (стр. 864).

Чтобы произвести оценку точности процесса, необходимо тем или иным путем установить принадлежность выборочной совокупности определенному закону распределения (п. 2) или предположить это на основе опыта и аналогий.

Мерами оценки точности служат: а) коэффициент исполнения Tn или стандартный коэффициент точности K_T ¹; б) коэффициент смещения уровня настроенности процесса E (безразмерные величины); в) возможная доля брака или дефектных деталей q .

Коэффициент Tn или K_T позволяет оценить, насколько рассеяние признака качества или свойства обеспечивает выполнение заданных отклонений (допусков). В проводимые измерения размеров включаются отклонения формы, если они не требуют выделения. Последние могут быть выделены из общих данных и обработаны отдельно (глава первая, п. 11 и глава десятая). Нами принято

$$Tn = \frac{\delta}{t\eta} = \frac{\delta}{\omega},$$

где δ — допуск; t — коэффициент (квантиль), зависящий от вида распределения; η — статистическая характеристика (обычно \bar{X} или s); ω — поле рассеяния.

Стандартный коэффициент точности K_T , или, что то же, показатель рассеяния K_p (ГОСТ 16467—70), является величиной, обратной коэффициенту Tn , т. е.

$$K_T = K_p = \frac{1}{Tn} = \frac{t\eta}{\delta} = \frac{\omega}{\delta}.$$

Коэффициенты Tn (K_T , K_p) характеризуют рассеяние (неоднородность) признака качества, зависящего от случайных производственных погрешностей (колебания температуры, изменения в податливости системы СПИД, неодинаковой твердости заготовок, износа технологического агрегата или оснастки, колебания плотности тока при электро-технологических и гальванических процессах и т. п.).

Когда коэффициенты Tn , K_T и K_p равны единице, то при $E = 0$ возможный брак продукции не более 0,27%, если для всех законов распределения принята вероятность $P = 0,9973$ и соответствующий ей квантиль t (по ГОСТ 16467—70 t обозначен через l).

Точность исполнения недостаточная и $q > 0,27\%$, если $Tn < 1$ или $K_T = K_p > 1$. Наконец, точность исполнения повышена, т. е. имеется запас (ресурс) точности (по рассеянию) и $q \ll 0,27\%$, если $Tn > 1$ или $K_T = K_p < 1$.

Поле рассеяния ω характеризует наибольшее ожидаемое рассеяние показателя качества. В табл. 15.12 ω и, что то же, знаменатель у коэффициента Tn приведены при вероятности $P = 0,9973$.

Коэффициент смещения E позволяет оценить, насколько выборочное среднее \bar{X} совпадает с заданным средним значением $B_{ср}$ показателя качества, например координатой середины поля допуска δ (для симметричных законов распределения). Коэффициент E должен равняться

¹ По ГОСТ 15893—70 и ГОСТ 15894—70.

нулю при отсутствии систематических производственных погрешностей (или их уравновешенности), вызывающих смещение всей совокупности к границам допуска (погрешности первоначальной настройки, износ инструмента, упругие и остаточные закономерные деформации системы СПИД, постепенное падение плотности тока или обеднение состава гальванической ванны и т. п.).

Формулы для нахождения $Tn \left(\frac{1}{K_T} \right)$ и E приводятся в табл. 15.12.

При совокупностях, принадлежащих однопараметрическим законам распределения (табл. 15.1), следует ограничиться подсчетом коэффициента $Tn = \frac{1}{K_T}$.

Технологический допуск δ_T целесообразно подсчитывать в тех случаях, когда необходимо выяснить, какой допуск обеспечивается технологией (т. е. при имеющихся величинах рассеяния и смещения показателя качества), причем возможная дефектность не превысит 0,27%.

Возможная доля дефектности q ($q\%$) является обобщенным показателем качества и функцией от величины $Tn(K_T)$ и E (табл. 15.12). Она может быть также определена по формулам и таблицам дефектности, указанным в последнем столбце табл. 15.12.

О ресурсе точности указано ниже. Коэффициенты уточнения (Δ_{UT} и др.) следует определять для оценки целесообразности тех или иных операций с позиций последовательного улучшения точности обработки деталей.

Следует отметить особенности вычислений мер точности и дефектности при распределении обобщенного типа А (табл. 15.12). В этом распределении учитываются приведенные ниже статистические характеристики.

1. А с и м м е т р и я (косость)

$$\alpha = \frac{m_3}{s^3}, \quad (15.16)$$

где

$$m_3 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})^3}{N}$$

является выборочным третьим центральным моментом [4, 10, 15].

Приблизительно α может заменяться мерой скошенности [10]

$$\alpha^* = \frac{\bar{X} - Mo}{s}, \quad (15.17)$$

где Mo — выборочная мода (стр. 865).

2. К р у т о с т ь

$$\tau = \frac{m_4}{s^4} - 3, \quad (15.18)$$

где

$$m_4 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})^4}{N}.$$

ТАБЛИЦА 15.12

Меры точности

Вид распределения	Основные меры				Возможная доля дефектности q или $q \%$
	Поле рассеяния ω	Коэффициенты		Технологический допуск δ_T	
		исполнения 1 точности $T_1 = \frac{1}{K_T}$	смещения E		
Равновероятное	3,46s (a)	$\frac{\delta}{3,46s}$ (b)			Дефектность $q = 1 - [T_n(0,5 + E) + T_n(0,5 - E)]$ (e)
Нормальное	6s (f)	$\frac{\delta}{6s}$ (g)	$\frac{\bar{X} - B_{\text{ср}}}{\delta}$ (c) $\omega + \bar{X} - B_{\text{ср}} $, или $\approx 1,1\omega$ (d)		$q = 1 - \{\Phi[6T_n(0,5 + E)] + \Phi[6T_n(0,5 - E)]\}$ (h) и по табл. 15.13 $q \%$
Обобщенное типа А	ts (i) $t = f(\tau)$, см. табл. 15.14; τ определена по формуле (15.18)	$\frac{\delta}{\omega}$ (j)			$q \%$ = $q_1 + q_2 + \alpha$ ($r\alpha_2 - r\alpha_1$), (k) где q_1 и q_2 , $r\alpha_2$ и $r\alpha_1$ согласно формулам (15.16), (15.19) и табл. 15.15 и 15.16
Максвелла	5,25s _R (l)	$\frac{\delta}{5,25s_R}$ (m)	Не требуется	5,25s _R (n)	$q \%$ по табл. 15.17
Нормального модуля упрощенное	4,98s (p)	$\frac{\delta}{4,98s}$ (q)		4,98s (r)	$q \%$ по табл. 15.18

Продолжение табл. 15.12

Вид распределения	Основные меры			Возможная доля дефектности q или $q\%$
	Поле рассеяния ω	Коэффициенты		
		исполнения точности $Tn = \frac{1}{K_T}$	смещения E	
Модуля нормального закона	$3s'$ (s)	$\frac{\delta}{3s'} (t)$	$\frac{ \bar{X}' }{2\delta} (u)$	$\omega + \bar{X}' (v)$
s' и \bar{X}' соответствуют параметрам σ табл. 15.2 и \bar{X}_0 по формуле (v') табл. 15.1				
Дополнительные меры				
Ресурса точности	Коэффициенты уточнения			
	по допуску	по рассеянию		
$Q = \frac{\delta}{\delta_{\text{т}}} 100 (w)$	$\Delta_{\text{ут}} = \frac{\delta_i}{\delta_{i+j}} (x)$	$\Delta'_{\text{ут}} = \frac{s_i}{s_{i+j}} (y)$		
		$\Delta''_{\text{ут}} = \frac{\delta_{\text{т}i}}{\delta_{\text{т}i+j}} (z)$		
<p>Примечание. В формулах (x), (y) и (z) индекс i означает предшествующую, а $i + j$ — последующую исследуемую операцию (или переход) технологического процесса.</p> <p>Межоперационная (межпереходная) точность $\Delta_{\text{ут}}$, $\Delta'_{\text{ут}}$ и $\Delta''_{\text{ут}}$ должна быть больше или равна единице, причем $\Delta'_{\text{ут}} \geq \Delta_{\text{ут}}$; $\Delta''_{\text{ут}} \geq \Delta_{\text{ут}}$.</p> <p>$V_{\text{ср}}$ — см. рис. 15.3.</p>				

ТАБЛИЦА 15.13

Значения дефектности $q\%$ в зависимости от $Tn = \frac{1}{K_T}$ и E ; нормальный закон и закон модуля нормального закона

$Tn = \frac{1}{K_{\pi}}$	$ E $												
	0	0,02	0,05	0,08	0,10	0,12	0,15	0,18	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40
0,20	54,8	54,9	54,9	55,0	55,0	55,3	55,5	55,8	56,0	56,6	57,4	58,2	59,2
0,25	45,3	45,3	45,4	45,6	45,8	46,0	46,5	47,0	47,3	48,4	49,7	51,2	52,9
0,30	35,8	36,8	37,0	37,3	37,6	37,9	38,5	39,2	39,8	41,5	43,4	45,7	48,1
0,35	29,4	29,4	29,6	30,1	30,4	30,9	31,7	32,8	33,5	35,8	38,4	41,4	44,6
0,40	23,0	23,1	23,4	23,9	24,3	24,9	26,0	27,3	28,2	31,0	34,3	38,0	42,1
0,42	20,8	20,8	21,1	21,7	22,2	22,8	24,0	25,3	26,4	29,4	32,9	36,9	41,2
0,45	17,7	17,7	18,1	18,7	19,3	19,9	21,2	22,7	23,8	27,1	31,0	35,4	40,1
0,48	15,0	15,1	15,4	16,1	16,7	17,4	18,7	20,4	21,6	25,1	29,3	34,0	39,2
0,50	13,4	13,4	13,8	14,5	15,1	15,8	17,2	18,9	20,2	23,9	28,2	33,2	38,5
0,55	9,69	10,0	10,4	11,1	11,7	12,6	14,0	15,8	17,2	21,1	25,9	31,3	37,2
0,60	7,19	7,26	7,65	8,37	9,03	9,84	11,3	13,2	14,6	18,8	23,9	29,6	36,0
0,65	5,12	5,19	5,56	6,25	6,90	7,69	9,17	11,0	12,4	16,7	21,9	28,0	34,9
0,70	3,57	3,64	3,98	4,63	5,24	5,98	7,40	9,16	10,5	14,8	20,1	26,4	33,7
0,75	2,44	2,50	2,81	3,40	3,94	4,62	5,94	7,61	8,94	13,1	18,4	25,0	32,9
0,80	1,64	1,69	1,95	2,46	2,94	3,55	4,76	6,29	7,53	11,5	16,8	23,6	31,6
0,85	1,08	1,12	1,34	1,76	2,19	2,71	3,76	5,17	6,32	10,1	15,4	22,2	30,5
0,90	0,69	0,72	0,90	1,26	1,60	2,05	2,96	4,21	5,27	8,85	14,1	20,9	29,5
0,95	0,44	0,46	0,60	0,80	1,16	1,51	2,31	3,42	4,36	7,71	12,7	19,6	28,4
1,00	0,27	0,29	0,40	0,62	0,84	1,14	1,80	2,74	3,59	6,68	11,5	18,4	27,4
1,05	0,16	0,18	0,26	0,41	0,60	0,85	1,37	2,19	2,94	5,77	10,4	17,2	26,4
1,10	0,10	0,10	0,16	0,29	0,41	0,61	1,04	1,74	2,39	4,95	9,34	16,1	25,5
1,15	0,06	0,06	0,11	0,19	0,29	0,44	0,79	1,36	1,92	4,23	8,38	15,0	24,5
1,20	0,03	0,04	0,06	0,13	0,20	0,31	0,59	1,06	1,54	3,59	7,49	14,0	23,6
1,25	0,02	0,02	0,04	0,09	0,14	0,22	0,43	0,82	1,22	3,04	6,68	13,0	22,7
1,30	0,01	0,01	0,02	0,06	0,10	0,15	0,32	0,63	0,96	2,56	5,94	12,1	21,7
1,40	0,0	0,0	0,01	0,02	0,04	0,07	0,16	0,36	0,59	1,79	4,65	10,4	20,0
1,50	0,0	0,0	0,01	0,01	0,02	0,03	0,09	0,20	0,35	1,22	3,59	8,85	18,4
1,60	0,0	0,0	0,0	0,0	0,01	0,01	0,04	0,11	0,20	0,82	2,74	7,49	16,8
1,70	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,01	0,02	0,06	0,12	0,54	2,07	6,30	15,4
1,80	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,01	0,03	0,06	0,35	1,54	5,26	14,0
1,90	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,01	0,03	0,22	1,13	4,36	12,7
2,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,01	0,02	0,14	0,82	3,59	11,5

Продолжение табл. 15 13

$tn = \frac{1}{K_T}$	E													
	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,90	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4
0,20	60,3	61,5	62,8	64,1	65,5	67,0	68,5	70,0	73,1	76,2	79,2	82,0	84,7	87,1
0,25	54,7	56,7	58,75	60,9	63,1	65,4	67,7	69,9	74,4	78,6	82,4	85,9	88,8	91,4
0,30	50,8	53,6	56,5	59,5	62,6	65,6	68,6	71,6	77,0	81,9	86,2	89,7	92,6	94,8
0,35	48,1	51,8	55,6	59,4	63,2	66,9	70,5	73,9	80,1	85,4	89,7	92,9	95,4	97,1
0,40	46,4	50,8	55,3	59,9	64,3	68,6	72,7	76,5	83,2	88,6	92,5	95,4	97,8	98,8
0,42	45,8	50,6	55,6	60,8	65,8	69,3	74,7	79,1	84,3	89,6	93,5	96,1	98,5	99,3
0,45	45,1	50,4	55,6	61,5	66,7	72,0	76,4	80,5	86,0	91,2	94,7	97,8	99,9	99,5
0,48	44,6	50,2	55,7	61,8	67,4	72,6	77,3	81,6	87,5	92,5	95,8	98,2	99,7	99,8
0,50	44,3	50,1	56,0	62,9	68,9	74,6	79,5	83,9	89,7	95,1	97,6	98,9	99,6	99,8
0,55	43,5	50,1	56,8	64,0	70,54	76,4	81,6	86,0	92,5	95,4	98,5	99,4	99,8	99,9
0,60	42,9	50,1	57,2	65,2	72,1	78,2	83,5	87,9	94,1	97,4	99,0	99,7	99,9	99,98
0,65	42,3	50,0	57,7	65,2	73,6	79,9	85,3	89,6	95,4	98,2	99,4	99,8	99,96	100
0,70	41,7	50,0	58,3	67,4	75,0	83,2	88,5	91,2	96,4	98,8	99,7	99,9	100	100
0,75	41,1	50,0	58,9	68,4	76,4	84,6	89,9	93,7	97,9	99,5	99,8	99,98	100	100
0,80	40,5	50,0	59,5	68,4	76,4	84,6	89,9	93,7	97,9	99,5	99,8	99,98	100	100
0,85	39,9	50,0	60,1	69,5	77,8	86,0	91,2	94,7	98,5	99,7	99,9	99,99	100	100
0,90	39,4	50,0	60,6	70,5	79,1	86,0	91,2	94,7	98,5	99,7	99,9	99,99	100	100
0,95	38,9	50,0	61,2	71,6	80,4	87,3	92,3	95,6	98,9	99,8	99,97	100	100	100
1,00	38,2	50,0	61,8	72,6	81,6	88,5	93,3	96,4	99,2	99,9	99,99	100	100	100
1,05	37,6	50,0	62,4	73,6	82,8	89,6	94,2	97,1	99,4	99,9	99,99	100	100	100
1,10	37,1	50,0	62,9	74,5	83,9	90,7	95,1	97,6	99,6	99,9	100	100	100	100
1,15	36,5	50,0	63,5	75,5	85,0	91,6	95,8	98,1	99,7	99,97	100	100	100	100
1,20	35,9	50,0	64,1	76,4	86,0	92,5	96,4	98,5	99,8	99,98	100	100	100	100
1,25	35,4	50,0	64,6	77,3	87,0	93,3	96,9	98,8	99,9	99,99	100	100	100	100
1,30	34,8	50,0	65,2	78,2	88,0	94,1	97,4	99,0	99,9	100	100	100	100	100
1,35	34,3	50,0	65,7	78,9	89,6	95,4	98,2	99,4	99,9	100	100	100	100	100
1,40	33,7	50,0	66,3	79,9	90,2	96,4	98,8	99,7	99,99	100	100	100	100	100
1,45	33,2	50,0	67,4	81,6	91,2	97,9	99,2	99,8	100	100	100	100	100	100
1,50	32,6	50,0	68,4	83,2	92,5	97,3	99,5	99,9	100	100	100	100	100	100
1,60	31,6	50,0	69,5	84,6	93,7	97,9	99,5	99,9	100	100	100	100	100	100
1,70	30,5	50,0	70,6	86,0	94,7	98,5	99,8	100,0	100	100	100	100	100	100
1,80	29,5	50,0	71,6	87,3	95,6	98,9	99,9	100,0	100	100	100	100	100	100
1,90	28,4	50,0	72,6	88,3	96,4	99,2	99,9	100,0	100	100	100	100	100	100
2,00	27,4	50,0	73,6	89,3	97,4	99,2	99,9	100,0	100	100	100	100	100	100

ТАБЛИЦА 15.14

Зависимость квантилей t (для уровня $P = 0,9973$) от τ для закона типа А

τ	τ меньше нуля		τ больше нуля		τ	τ меньше нуля		τ больше нуля	
	$\frac{t}{2}$	t	$\frac{t}{2}$	t		$\frac{t}{2}$	t	$\frac{t}{2}$	t
0,05	2,96	5,92	3,05	6,10	1,10	2,40	4,80	3,55	7,10
0,10	2,92	5,84	3,08	6,16	1,20	2,37	4,74	3,57	7,14
0,15	2,88	5,76	3,11	6,22	1,30	2,35	4,70	3,60	7,20
0,22	2,85	5,70	3,15	6,30	1,40	2,33	4,64	3,63	7,26
0,25	2,82	5,64	3,17	6,34	1,50	2,30	4,60	3,67	7,34
0,30	2,77	5,56	3,21	6,42	1,60	2,28	4,56	3,67	7,34
0,35	2,74	5,48	3,24	6,48	1,70	2,26	4,52	3,69	7,39
0,40	2,71	5,42	3,26	6,52	1,80	2,24	4,49	3,70	7,41
0,45	2,68	5,36	3,29	6,58	1,90	2,23	4,46	3,73	7,46
0,50	2,65	5,32	3,33	6,66	2,00	2,21	4,43	3,75	7,50
0,55	2,63	5,26	3,35	6,70	2,10	2,20	4,40	3,76	7,52
0,60	2,60	5,20	3,38	6,76	2,20	2,18	4,37	3,77	7,54
0,65	2,57	5,14	3,39	6,78	2,30	2,17	4,35	3,79	7,58
0,70	2,55	5,10	3,39	6,78	2,40	2,16	4,32	3,81	7,62
0,75	2,53	5,06	3,42	6,84	2,50	2,15	4,30	3,82	7,64
0,80	2,51	5,02	3,45	6,90	2,60	2,14	4,28	3,83	7,66
0,85	2,49	4,98	3,47	6,94	2,70	2,13	4,26	3,84	7,68
0,90	2,46	4,94	3,49	6,98	2,80	2,12	4,24	3,85	7,70
0,95	2,45	4,92	3,50	7,00	2,90	2,11	4,22	3,85	7,70
1,00	2,43	4,86	3,52	7,04	3,00	2,10	4,20	3,87	7,75

Подсчет моментов упрощается при вычислениях по схеме, приведенной в [4, 10, 15] или по формулам [16].

В зависимости от знака у τ с помощью табл. 15.15 и 15.16 вычисляется

$$\left. \begin{aligned} Tn_1 &= Tn + 2 |E| Tn; \\ Tn_2 &= Tn - 2 |E| Tn, \end{aligned} \right\} \quad (15.19)$$

где Tn — по формуле (j) и (i), а E — по формуле (с) табл. 15.12.

Затем в тех же табл. 15.15 и 15.16 находят r_{α_1} и r_{α_2} , $q_1\%$ и $q_2\%$ и, наконец, по формуле (к) табл. 15.12 подсчитывают $q\%$ (см. пример 8).

Если линия накопленных частот, нанесенная на вероятностную бумагу для распределений Максвелла и нормального модуля упрощенного (стр. 862 и 863), смещается относительно начала координат, то в знаменатели формул (m) и (q) ставится $\delta - b$, причем b находится

ТАБЛИЦА 15.15

Значения дефектности q % в зависимости от $Tn = \frac{1}{K_T}$; закон типа А; τ меньше нуля

$Tn = \frac{1}{K_T}$	τ	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70
0,2	q	30,78	31,39	31,93	32,4	32,87	33,33	33,73	34,12	34,45	34,83	35,45	35,47	35,79
	r_{α}	2,509	2,409	2,329	2,259	2,199	2,139	2,089	2,039	2,009	1,959	1,929	1,899	1,869
0,3	q	22,38	23,14	23,82	24,41	25,00	25,59	26,1	26,6	27,01	27,52	27,93	28,34	28,76
	r_{α}	4,889	4,729	4,589	4,479	4,369	4,249	4,179	4,099	4,039	3,929	3,899	3,849	3,789
0,4	q	15,31	16,08	16,77	17,38	17,99	18,62	19,15	19,69	20,13	20,67	21,12	21,56	22,01
	r_{α}	7,149	6,969	6,809	6,679	6,549	6,419	6,319	6,219	6,149	6,049	5,979	5,909	5,839
0,5	q	9,74	10,41	11,02	11,56	12,11	12,69	13,17	13,67	14,06	14,58	14,99	15,41	15,83
	r_{α}	8,759	8,619	8,499	8,389	8,279	8,159	8,069	7,979	7,919	7,819	7,759	7,689	7,619
0,6	q	5,69	6,2	6,67	7,08	7,51	7,97	8,36	8,76	9,1	9,5	9,83	10,18	10,53
	r_{α}	9,529	9,669	9,419	9,359	9,299	9,239	9,179	9,119	9,079	9,019	8,969	8,919	8,869
0,7	q	3,00	3,33	3,63	3,9	4,2	4,52	4,78	5,06	5,27	5,59	5,82	6,06	6,32
	r_{α}	9,549	9,589	9,609	9,619	9,619	9,609	9,609	9,589	9,579	9,559	9,649	9,589	9,509

Продолжение табл. 15.15

$7n = \frac{1}{K_f}$	τ	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70
0,8	q	1,39	1,56	1,72	1,87	2,03	2,21	2,36	2,53	2,63	2,83	2,96	3,11	3,26
	r_α	9,089	9,189	9,269	9,339	9,389	9,439	9,479	9,509	9,589	9,549	9,569	9,579	9,589
0,9	q	0,52	0,59	0,65	0,7	0,77	0,84	0,9	0,97	1,00	1,09	1,15	1,20	1,27
	r_α	8,439	8,579	8,689	8,779	8,879	8,949	9,019	9,079	9,119	9,179	9,209	9,249	9,289
1,0	q	0,13	0,13	0,14	0,13	0,13	0,14	0,14	0,14	0,13	0,15	0,14	0,14	0,14
	r_α	7,829	7,949	8,069	8,159	8,259	8,349	8,429	8,499	7,549	8,629	8,679	8,729	8,779
1,1	q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	r_α	7,349	7,359	7,539	7,619	7,709	7,799	7,779	7,949	7,949	8,059	8,109	8,169	8,219
1,2	q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	r_α	7,029	7,119	7,169	7,229	7,289	7,359	7,469	7,479	7,519	7,579	7,629	7,669	7,719
1,3	q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	r_α	6,829	6,879	6,919	6,959	7,009	7,059	7,099	7,139	7,169	7,219	7,249	7,289	7,329
1,4	q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	r_α	6,729	6,759	6,779	6,809	6,829	6,869	6,889	6,919	6,939	6,979	6,999	7,029	7,049

Продолжение табл. 15.15

$7n = \frac{1}{K_T}$	τ	1,80	1,90	2,00	2,10	2,20	2,30	2,40	2,50	2,60	2,70	2,80	2,90	3,00
0,2	q	36,07	36,35	36,63	36,91	37,19	37,43	37,70	37,95	38,19	38,43	38,67	38,90	39,14
	r_α	1,849	1,829	1,799	1,779	1,759	1,749	1,719	1,709	1,689	1,679	1,659	1,649	1,639
0,3	q	29,11	29,49	29,84	30,22	30,56	30,88	31,26	31,56	31,89	32,20	32,52	32,83	33,14
	r_α	3,759	3,709	3,679	3,629	3,589	3,569	3,519	3,489	3,469	3,439	3,409	3,389	3,359
0,4	q	22,4	22,75	23,19	23,59	23,98	24,33	24,73	25,07	25,42	25,76	26,11	26,45	26,8
	r_α	5,789	5,739	5,679	5,629	5,579	5,539	5,489	5,449	5,419	5,379	5,349	5,309	5,269
0,5	q	16,18	16,57	16,93	17,32	17,69	18,01	18,42	18,74	19,07	19,40	19,74	20,07	20,41
	r_α	7,569	7,519	7,469	7,409	7,359	7,329	7,269	7,229	7,189	7,159	7,119	7,079	7,039
0,6	q	10,83	11,13	11,45	11,77	12,09	12,36	12,71	12,97	13,25	13,53	13,81	14,10	14,40
	r_α	8,839	8,799	8,759	8,719	8,669	8,649	8,599	8,569	8,539	8,509	8,479	8,519	8,419
0,7	q	6,62	6,75	6,97	7,21	7,45	7,63	7,9	8,1	8,30	8,51	8,72	8,94	9,17
	r_α	9,489	9,479	9,459	9,439	9,419	9,399	9,379	9,359	9,339	9,329	9,309	9,289	9,269

Продолжение табл. 15.15

$Tn = \frac{1}{K_T}$	γ	1,80	1,90	2,00	2,10	2,20	2,30	2,40	2,50	2,60	2,70	2,80	2,90	3,00
0,8	q	3,38	3,51	3,65	3,79	3,95	4,05	4,22	4,34	4,46	4,59	4,73	4,87	5,11
	r_α	9,599	9,609	9,609	9,609	9,619	9,619	9,619	9,619	9,619	9,609	9,609	9,609	9,609
0,9	q	1,31	1,37	1,42	1,49	1,56	1,59	1,68	1,73	1,78	1,84	1,9	1,97	2,03
	r_α	9,309	9,339	9,359	9,389	9,409	9,419	9,439	9,459	9,469	9,479	9,489	9,509	9,519
1,0	q	0,135	0,13	0,13	0,13	0,14	0,13	0,15	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	0,16
	r_α	8,809	8,849	8,879	8,919	8,959	8,979	9,019	9,039	9,059	9,079	9,109	9,129	9,149
1,1	q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	r_α	8,259	8,279	8,339	8,379	8,419	8,439	8,489	8,509	8,539	8,569	8,599	8,619	8,649
1,2	q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	r_α	7,759	7,789	7,829	7,869	7,909	7,929	7,969	7,999	8,029	8,049	8,079	8,109	8,139
1,3	q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	r_α	7,359	7,389	7,419	7,449	7,479	7,499	7,539	7,559	7,589	7,609	7,629	7,659	7,679
1,4	q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	r_α	7,069	7,099	7,199	7,139	7,169	7,179	7,209	7,229	7,249	7,269	7,289	7,309	7,329

ТАБЛИЦА 15.16

Значения дефектности q , % в зависимости от $Tn = \frac{1}{K_T}$; закон типа A; τ больше нуля

$Tn = \frac{1}{K_T}$	τ	0,5%	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70
0,2	q	24,14	23,59	23,3	22,69	22,20	21,79	21,37	21,01	20,60	20,18	19,71	19,48	19,10
	$r\alpha$	3,689	3,779	3,789	3,899	3,979	4,029	4,089	4,119	4,179	4,249	4,309	4,329	4,349
0,3	q	14,88	14,34	14,07	13,48	13,03	12,66	12,28	11,98	11,62	11,27	10,87	10,69	10,38
	$r\alpha$	6,641	6,759	7,469	6,929	7,019	7,089	7,159	7,199	7,269	7,329	7,419	7,419	7,469
0,4	q	8,58	8,19	8,03	7,60	7,31	7,07	6,85	6,68	6,47	6,28	6,05	5,98	5,83
	$r\alpha$	8,769	8,859	8,869	8,969	9,029	9,069	9,119	9,139	9,179	9,219	9,269	9,269	9,289
0,5	q	4,72	4,49	4,44	4,21	4,08	3,98	3,95	3,85	3,78	3,72	3,64	3,66	3,63
	$r\alpha$	9,599	9,609	9,609	9,619	9,619	9,609	9,609	9,609	9,599	9,589	9,569	9,569	9,559
0,6	q	2,51	2,42	2,44	2,34	2,3	2,28	2,28	2,29	2,29	2,3	2,28	2,34	2,36
	$r\alpha$	9,349	9,299	9,289	9,209	9,159	9,119	9,079	9,059	9,019	8,969	8,909	8,909	8,879

Продолжение табл. 15.16

$Tn = \frac{1}{K_T}$	τ	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70
0,7	q r_α	1,3 8,595	1,26 8,509	1,32 8,489	1,28 8,389	1,28 8,319	1,29 8,259	1,31 8,219	1,34 8,189	1,35 8,149	1,36 8,089	1,36 8,019	1,42 8,019	1,44 7,979
0,8	q r_α	0,65 7,819	0,64 7,745	0,64 7,719	0,67 7,629	0,67 7,569	0,68 7,519	0,69 7,479	0,71 7,459	0,72 7,419	0,73 7,379	0,74 7,329	0,76 7,329	0,76 7,299
0,9	q r_α	0,30 7,249	0,30 7,189	0,33 7,179	0,32 7,109	0,32 7,079	0,32 7,049	0,33 7,019	0,33 7,009	0,34 6,979	0,34 6,959	0,34 6,929	0,35 6,929	0,35 6,919
1,0	q r_α	0,13 6,909	0,13 6,879	0,14 6,869	0,13 6,839	0,13 6,819	0,13 6,809	0,13 6,789	0,14 6,779	0,13 6,769	0,13 6,759	0,13 6,749	0,13 6,749	0,13 6,739
1,1	q r_α	0,05 6,749	0,05 6,739	0,06 6,729	0,05 6,719	0,05 6,709	0,05 6,699	0,05 6,689	0,05 6,689	0,05 6,689	0,04 6,689	0 6,689	0 6,689	0 6,689
1,2	q r_α	0,02 6,679	0 6,649	0 6,649	0 6,649	0 6,649	0 6,649	0 6,649	0 6,649	0 6,649	0 6,649	0 6,649	0 6,649	0 6,649

Продолжение табл. 15.16

$Tn = \frac{1}{K_g}$	τ	1,80	1,90	2,00	2,10	2,20	2,30	2,40	2,50	2,60	2,70	2,80	2,90	3,00
0,2	q	18,81	18,43	18,08	17,79	17,57	17,15	16,80	16,51	16,23	15,94	15,65	15,42	15,05
	r_{α}	4,369	4,419	4,409	4,469	4,489	4,529	4,579	4,589	4,599	4,619	4,639	4,659	4,679
0,3	q	10,15	9,85	9,59	9,37	9,15	8,89	8,63	8,42	8,22	8,01	7,81	7,64	7,39
	r_{α}	7,489	7,549	7,589	7,609	7,629	7,669	7,709	7,729	7,749	7,769	7,789	7,789	7,839
0,4	q	5,73	5,59	5,47	5,38	5,29	5,19	5,09	5,01	4,94	4,87	4,80	4,75	4,67
	r_{α}	9,299	9,329	9,419	9,359	9,369	9,389	9,399	9,409	9,419	9,429	9,439	9,439	9,459
0,5	q	3,63	3,60	3,59	3,60	3,62	3,62	3,62	3,64	3,66	3,68	3,70	3,74	3,75
	r_{α}	9,559	9,549	9,529	9,529	9,519	9,509	9,499	9,489	9,489	9,479	9,469	9,469	9,449
0,6	q	2,40	2,42	2,45	2,54	2,54	2,57	2,60	2,65	2,69	2,74	2,79	2,85	2,87
	r_{α}	8,869	8,829	8,799	8,779	8,769	8,749	8,709	8,699	8,679	8,659	8,650	8,650	8,609

Продолжение табл. 15.16

$Tn = \frac{1}{K_{\text{в}}}$	τ	1,80	1,90	2,00	2,10	2,20	2,30	2,40	2,50	2,60	2,70	2,80	2,90	3,00
0,7	q	1,48	1,49	1,52	1,56	1,59	1,61	1,63	1,67	1,70	1,73	1,77	1,82	1,82
	r_{α}	7,969	7,929	7,899	7,879	7,859	7,839	7,809	7,799	7,779	7,769	7,752	7,752	7,719
0,8	q	0,79	0,79	0,80	0,82	0,84	0,85	0,85	0,87	0,88	0,89	0,91	0,94	0,93
	r_{α}	7,289	7,259	7,239	7,229	7,219	7,199	7,179	7,169	7,159	7,149	7,139	7,139	7,119
0,9	q	0,36	0,35	0,35	0,36	0,37	0,37	0,37	0,37	0,38	0,38	0,39	0,40	0,39
	r_{α}	6,909	6,889	6,879	6,879	6,869	6,859	6,849	6,839	6,839	6,839	6,829	6,829	6,819
1,0	q	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14	0,13
	r_{α}	6,739	6,729	6,729	6,719	6,719	6,719	6,709	6,709	6,709	6,709	6,709	6,709	6,699
1,1	q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	r_{α}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,2	q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	r_{α}	6,649	6,649	6,649	6,649	6,649	6,649	6,649	6,649	6,649	6,649	6,649	6,649	6,649

*

по формулам (15.6) и (15.7). Более точный учет смещения из-за влияния систематических погрешностей может быть произведен по методу проф. А. С. Шевелева [18].

Пример 7. Оценить качество процесса в отношении изготовления деталей по размерам, сгруппированным в табл. 15.3. Распределение нормальное. Значения \bar{X} и s найдены в примере 1.

Согласно формуле (g) табл. 15.12 при допуске $\delta = 0,16$ мм (табл. 15.3) находим

$$Tn = \frac{0,16}{6 \cdot 0,037} = 0,72; K_T = \frac{1}{0,72} = 1,285,$$

что указывает на явно недостаточную точность процесса изготовления деталей по изучаемому признаку $4,5_{-0,16}$.

Для подсчета коэффициента смещения находим среднее заданное значение размера

$$B_{\text{ср}} = \frac{4,50 + 4,34}{2} = 4,42 \text{ мм},$$

где 4,50 и 4,34 мм — предельные размеры. По формуле (с) табл. 15.12 находим

$$E = \frac{4,399 - 4,420}{0,16} = -0,131,$$

что указывает на незначительную погрешность настроенности процесса изготовления. Знак минус означает факт смещения размеров совокупности в сторону меньших величин (т. е. к стороне калибра HE).

На рис. 15.3, а показаны величины \bar{X} , $B_{\text{ср}}$, $\frac{\delta}{2}$, $\epsilon = \bar{X} - B_{\text{ср}}$ и s .

Возможный процент дефектных деталей находится (интерполированием) по табл. 15.13 по $Tn = \frac{1}{K_T}$ и $|E|$: $q \approx 6\%$; следовательно, качество продукции не обеспечивается данным процессом.

Аналогичное значение q можно получить, пользуясь формулой (h) табл. 15.12.

На рис. 15.3, а участки площади под кривой, приблизительно равные доле дефектности, заштрихованы.

Пример 8. Оценить точность изготовления вала $d = 26_{+0,014}$ мм на операции чистого шлифования; объем выборки $N = 252$ экз.

Сгруппированные по 10 разрядам наблюдаемые данные:

Представитель разряда x_i (мм)	Частота (экз.)	Представитель разряда x_i (мм)	Частота (экз.)
25,984	3	25,994	40
25,986	7	25,996	69
25,988	6	25,998	43
25,990	13	26,000	33
25,992	28	26,002	10

Закон распределения — типа А (наилучшее приближение), причем по формулам (15.16) и (15.18) найдены $\alpha = -0,6931$ и $\tau = 0,459$.

По табл. 15.14 для указанного выше значения $\tau > 0$ находим $t = 6,58$.

Далее по формулам (15.2) и (15.4) вычисляем: $\bar{X} = 25,9954$ и $s = 0,004$ мм.

Смещение

$$E = \frac{25,9954 - 25,9930}{0,014} = 0,17.$$

Затем согласно табл. 15.2 и формулам

$$(i) \omega = ts = 6,58 \cdot 0,004 = 0,0263 \text{ мм};$$

$$(j) Tn = \frac{0,014}{0,0263} = 0,53, \quad K_\tau = \frac{1}{0,53} = 1,89.$$

Следовательно, неудовлетворительна как общая настроенность операции шлифования, так и точность исполнения (по рассеянию).

Проводим вычисление возможного брака. По формуле (15.19)

$$Tn_1 = 0,53 + 2 \cdot 0,17 \cdot 0,53 = 0,71;$$

$$Tn_2 = 0,53 - 2 \cdot 0,17 \cdot 0,53 = 0,35.$$

Из табл. 15.16 ($\tau > 0$) для указанных значений Tn_1 и Tn_2 , а также $\tau = 0,5$ получим $q\% = 1,24\%$ и $r\alpha_1 = 8,710$; $q_2\% = 11,73\%$ и $r\alpha_2 = 7,705$.

Дефектность $q\%$ согласно формуле (k) табл. 15.12:

$$q\% = q_1 + q_2 + \alpha(r\alpha_1 - r\alpha_2) = 1,24 + 11,73 + + 0,693(8,710 - 7,705) = 13,66.$$

Дефектность, как следовало ожидать, очень значительная.

Технологический допуск по формуле (d) табл. 15.12:

$$\delta_\tau = \omega + |\bar{X} - B_{cp}| = 0,0263 + |25,9954 - 25,9930| = 0,0287;$$

ресурс точности по формуле (w) той же таблицы:

$$Q\% = \frac{0,0140}{0,0287} \cdot 100 = 48,9\%.$$

Запаса точности не имеется и $\delta_\tau = 2,06 \delta$.

Пример 9. Оценить качество процесса обработки по несимметричности расположения паза относительно отверстий деталей. Допуск установлен в 0,1 мм. Отклонения несимметричности распределяются по закону модуля нормального закона R_m .

Наблюдаемые выборочные: среднее $\bar{X}(r) = 0,065$ мм и среднее квадратическое отклонение $s(r) = 0,037$ мм.

Произведем оценку нормированных параметров распределения λ_0 ; ρ_0 ; $\sigma(\rho)$, пользуясь номограммой рис. 15.2 и формулами табл. 15.1 и 15.2.

ТАБЛИЦА 15.17

Значения дефектности $q\%$ в зависимости от величины $Tn = \frac{1}{K_T}$; распределение
Максвелла

$Tn = \frac{1}{K_T}$	$q \%$	$Tn = \frac{1}{K_T}$	$q \%$	$Tn = \frac{1}{K_T}$	$q \%$
0,10	94,139	0,42	34,991	0,74	3,864
0,11	93,022	0,43	34,350	0,75	3,552
0,12	91,821	0,44	31,751	0,76	3,262
0,13	90,536	0,45	30,196	0,77	2,992
0,14	88,894	0,46	28,390	0,78	2,694
0,15	87,443	0,47	26,936	0,79	2,465
0,16	85,925	0,48	25,530	0,80	2,254
0,17	84,341	0,49	24,170	0,81	2,058
0,18	82,363	0,50	22,602	0,82	1,843
0,19	80,654	0,51	21,348	0,83	1,679
0,20	78,894	0,52	20,142	0,84	1,528
0,21	77,093	0,53	18,983	0,85	1,389
0,22	74,879	0,54	17,656	0,86	1,237
0,23	72,995	0,55	16,601	0,87	1,122
0,24	71,083	0,56	15,593	0,88	1,016
0,25	69,146	0,57	14,630	0,89	0,920
0,26	66,795	0,58	13,533	0,90	0,815
0,27	64,822	0,59	12,667	0,91	0,735
0,28	62,839	0,60	11,844	0,92	0,663
0,29	60,851	0,61	11,063	0,93	0,598
0,30	58,466	0,62	10,178	0,94	0,527
0,31	56,483	0,63	9,484	0,95	0,473
0,32	54,503	0,64	8,828	0,96	0,425
0,33	52,547	0,65	8,208	0,97	0,381
0,34	50,214	0,66	7,511	0,98	0,334
0,35	48,292	0,67	6,967	0,99	0,299
0,36	46,394	0,68	6,456	1,00	0,267
0,37	44,523	0,69	5,976	1,05	0,146
0,38	42,316	0,70	5,430	1,10	0,076
0,39	40,513	0,71	5,022	1,15	0,039
0,40	38,746	0,72	4,633	1,20	0,019
0,41	37,015	0,73	4,269	1,25	0,000

ТАБЛИЦА 15.18

Значение дефектности q % в зависимости от величины $Tn = \frac{1}{K_T}$; распределение нормального модуля упрощенное

$Tn = \frac{1}{K_T}$	q %	$Tn = \frac{1}{K_T}$	q %	$Tn = \frac{1}{K_T}$	q %
0,10	76,32	0,62	6,26	0,84	1,18
0,20	54,70	0,63	5,86	0,85	1,08
0,30	36,95	0,64	5,46	0,86	0,99
0,31	35,36	0,65	5,10	0,87	0,91
0,35	29,46	0,66	4,76	0,88	0,83
0,40	23,04	0,67	4,42	0,89	0,76
0,42	20,79	0,68	4,12	0,90	0,70
0,44	18,70	0,69	3,82	0,91	0,64
0,46	16,77	0,70	3,56	0,92	0,58
0,48	14,81	0,71	3,30	0,93	0,52
0,50	13,36	0,72	3,06	0,94	0,48
0,51	12,60	0,73	2,84	0,95	0,43
0,52	11,87	0,74	2,59	0,96	0,39
0,53	11,17	0,75	2,42	0,97	0,36
0,54	10,51	0,76	2,28	0,98	0,32
0,55	9,89	0,77	2,07	0,99	0,28
0,56	9,29	0,78	1,94	1,00	0,27
0,57	8,71	0,79	1,79	1,05	0,16
0,58	8,07	0,80	1,65	1,10	0,10
0,59	7,66	0,81	1,52	1,15	0,06
0,60	7,07	0,82	1,39	1,20	0,03
0,61	6,70	0,83	1,29	1,30	0,01

Статистическая характеристика (табл. 15.2)

$$\lambda = \frac{\bar{X}(r)}{s(r)} = \frac{0,065}{0,037} = 1,76.$$

По номограмме для $\lambda_0 = 1,76$ найдем $\rho_0 = 1,56$, а по ρ_0 — значение $\sigma(\rho) = 0,91$.

Оценку σ_0 получим по формуле (r) и $\sigma(\rho) = s(\rho)$ (табл. 15.2):

$$s = \frac{s(r)}{s(\rho)} = \frac{0,037}{0,910} = 0,041 \text{ мм.}$$

По формуле (γ') табл. 15.1 оцениваем \bar{X}_0 :

$$\bar{X}' = sp_0 = 0,041 \cdot 1,56 = 0,064 \text{ мм.}$$

По формулам (t), (u) и (h) табл. 15.12 находим:

$$Tn = \frac{0,1}{3 \cdot 0,041} = 0,81; \quad E = \frac{0,064}{2 \cdot 0,1} = 0,32;$$

$$q = 1 - \{\Phi [6 \cdot 0,81 (0,5 - 0,32)] + \Phi [6 \cdot 0,81 (0,5 + 0,32)]\} = 1 - [\Phi (0,775) + \Phi (3,985)].$$

По табл. 1 приложения 2 имеем $\Phi(t) = 0,3092$ для $t = 0,875$ и $\Phi(t) = 0,4999$ для $t = 3,985$;

$$q = 1 - (0,3092 + 0,4999) = 0,191,$$

т. е. 19,1%, что характеризует процесс по рассмотренному показателю качества как неточный.

Близкую величину q получим двумя способами:

1) из табл. 15.13 интерполяцией табличных значений $q = 19,2\%$ для $Tn = \frac{1}{K_T} = 0,81$ и $E = 0,32$;

2) по формуле (δ') табл. 15.1, приравняв R_m допуску 0,1 мм,

$$\rho = \frac{R_m}{s} = \frac{0,1}{0,041} = 2,44.$$

По формуле (κ)

$$\begin{aligned} F(\rho) &= \Phi(\rho - \rho_0) + \Phi(\rho + \rho_0) = \\ &= \Phi(2,44 - 1,56) + \Phi(2,44 + 1,56) = \\ &= \Phi(0,88) + \Phi(4,0); \\ F(\rho) &= 0,3106 + 0,4999 = 0,81 \end{aligned}$$

и, следовательно,

$$q = 1 - F(\rho) = 0,19; \quad q \% = 19\%.$$

Оценка точности показателей качества в мелкосерийном и индивидуальном производстве может осуществляться более приближенно.

Для этого предложен метод усредняющих мер точности и нормировки по допуску [8].

Производится группировка партий малого объема (от 3 экз. и более) деталей, обрабатываемых на одном и том же станке и имеющих конструктивно-технологическую общность по параметрам: конструкции, размерам (например, от 5 до 35 мм), классу (например, 2 или 2а) или степени точности, классу чистоты поверхностей и т. д.

Для каждой партии объема m_i находят меры точности, приведенные в табл. 15.12, а затем вычисляют их средние взвешенные:

$$Tn_{B3} = \frac{Tn_1 m_1 + Tn_2 m_2 + \dots + Tn_k m_k}{m_1 + m_2 + \dots + m_k}; \quad (15.20)$$

$$|E_{B3}| = \frac{|E_1| m_1 + |E_2| m_2 + \dots + |E_k| m_k}{m_1 + m_2 + \dots + m_k}; \quad (15.21)$$

$$q_{B3} = \frac{q_1 m_1 + q_2 m_2 + \dots + q_k m_k}{m_1 + m_2 + \dots + m_k}. \quad (15.22)$$

Вычисление мер точности производится в предположении одного и того же закона распределения. Это предположение может быть оценено путем нормированных допускаемых отклонений. Находятся сперва обычные отклонения Δx_i от собственного выборочного среднего \bar{X}_i каждой k -й партии:

$$\left. \begin{aligned} \Delta x_{k,1} &= x_1 - \bar{X}_k; \\ \Delta x_{k,2} &= x_2 - \bar{X}_k; \\ &\dots \dots \dots \\ \Delta x_{k,\rho} &= x_m - \bar{X}_k. \end{aligned} \right\} \quad (15.23)$$

Нормированные отклонения

$$\left. \begin{aligned} \Delta \delta_{k,1} &= \frac{\Delta x_{k1}}{\delta_k}; \\ \Delta \delta_{k,2} &= \frac{\Delta x_{k2}}{\delta_k}; \\ &\dots \dots \dots \\ \Delta \delta_{k,\rho} &= \frac{\Delta x_{k\rho}}{\delta_k}. \end{aligned} \right\} \quad (15.24)$$

В системе (15.24) δ_k означает допуск для размеров всех ρ деталей k -й партии. Так же определяют нормированные (безразмерные) отклонения для других объединенных m_1, m_2, \dots, k партий.

Затем нормированные отклонения всех партий группируются в одну статистическую сводку типа табл. 15.3, в которой столбцы 2 и 3 содержат разряды в долях допуска. Например, при симметричных предельных отклонениях была получена следующая сводка:

Разряды $\Delta \delta$	Представитель разряда $x_{\Delta \delta}$	Частоты n_i
$(-1,6) \div (-1,0)$	-1,3	3
$(-1,0) \div (-0,4)$	-0,7	8
$(-0,4) \div (0,2)$	-0,1	12
$(0,2) \div (0,8)$	+0,5	10
$(0,8) \div (1,4)$	+1,1	6

Всего объединенный объем всех семи малых партий составил 39 экз. Рассчитанные частоты согласно данным n_i , приведенным выше, были нанесены на вероятностную бумагу нормального закона (стр. 954, л. 1, приложение 1). Линия оказалась весьма близкой к прямой, что позволяет идентифицировать объединенное безразмерное опытное распределение нормальным законом.

Ресурс точности функциональный Q_F , в отличие от линейного Q (табл. 15.12), учитывая вид закона распределения, может быть определен по формуле

$$Q_F = \frac{F_{\delta}}{F_{\delta_T}}, \quad (15.25)$$

где F — площадь под кривой плотности вероятности с индексом δ между границами заданного допуска и с индексом δ_T — между границами поля ω в предположении, что $\delta_T < \delta$. Очевидно, всегда $Q_F < Q$.

Для нормального и других законов распределения некоторые значения Q_F приведены в табл. 15.19 и 15.20.

Таким образом функциональный ресурс значительно меньше, чем ресурс Q , определяемый линейным отношением. Так, при 60% запаса

ТАБЛИЦА 15.19

Значения Q_F для распределения по нормальному закону

$Tn = \frac{1}{K_T}$	$ E $				
	0	0,05	0,10	0,15	0,20
1,1	1,004	1,006	—	—	—
1,2	1,009	1,012	1,016	—	—
1,3	1,018	1,022	1,033	—	—
1,4	1,031	1,036	1,049	1,073	—
1,5	1,044	1,048	1,063	1,089	—
1,6	1,061	1,067	1,083	1,110	1,153

ТАБЛИЦА 15.20

Значения Q_F для распределения Максвелла (М) и модуля нормального закона упрощенного (МН)

$Tn = \frac{1}{K_T}$		1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
Q_F	М	1,005	1,014	1,028	1,048	1,074	1,107
	МН	1,004	1,010	1,018	1,030	1,044	1,061

ресурса Q для нормального закона запас по Q_F составляет от 15,3 до 6,1%, а для законов М и МН — от 10,7 до 6,1%; уменьшение запаса почти на один порядок [8].

Стабильность статистических характеристик по выборкам большого объема можно оценить с помощью различных критериев, основанных на F -распределении (критерий Фишера), t -распределении (критерий Стьюдента), χ^2 -распределении и ряда других. Но наглядно и часто более просто оценивать стабильность изменений показателей качества во времени одновременно с оценкой точности мгновенными (текущими) выборками небольшого объема.

Метод мгновенных (текущих) выборок имеет преимущество по сравнению с методом одновременных выборок, так как он учитывает изменения показателя качества или свойства материала во времени и обеспечивает синхронность между изменениями статистических характеристик и наблюдаемыми явлениями во время хода процесса.

Выборки объема 4—6 экз. периодически извлекаются (стр. 855) в процессе изготовления продукции и подвергаются измерениям или

испытаниям. Данные обрабатываются и находятся выборочное среднее \bar{X} по формуле (15.1) для $n_i = 1$ и размах R по формуле (15.5) для каждой из выборок. Для однопараметрических выборок (например, Максвелла) R обычно не определяется. Вместо \bar{X} может применяться медиана \tilde{X} (стр. 865).

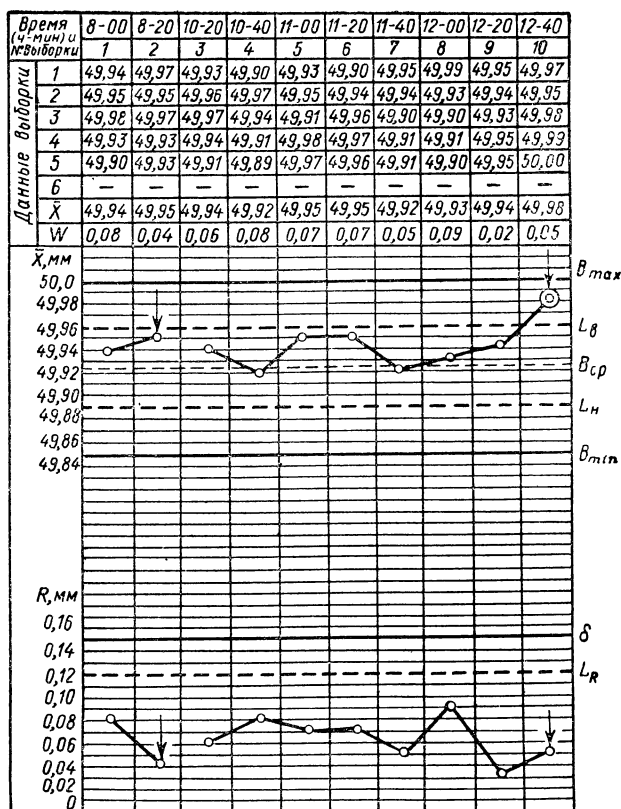


Рис. 15.4

Полученные значения \bar{X} , (\tilde{X}) и R наносят на диаграмму, подобно изображенной на рис. 15.4. При нестабильных значениях x_i и R_i иногда, кроме того, строят диаграмму индивидуальных значений x_i . Построение графиков ясно из рис. 15.4, на котором B_{\max} и B_{\min} являются линиями предельных размеров (технических пределов), а δ — линией величины допуска.

Во время наблюдения за точностью хода процесса строятся графики и фиксируются все регулировки агрегатов, перерывы в работе и т. п. Последние обозначаются разрывами линий графиков, воздействия же оператора на агрегаты — стрелками, а выборка, где обнаружена дефектность, — кружками (см. рис. 15.4).

Для более объективного представления о точности и стабильности хода процесса по наблюдаемому показателю качества наносят линии контрольных пределов (границ регулирования при статистическом регулировании технологических операций в машиностроении): верхнюю L_B и нижнюю L_H на графиках \bar{X} (или \tilde{X}) и одну L_R предела на графике R в случае нормального распределения (Гаусса). При однопараметрических распределениях (Максвелла, модуля нормального упрощенного и других) ограничиваются одним графиком \bar{X} , на котором наносится одна контрольная линия L и линия δ (от нуля).

В целях изучения точности контрольные линии наносят согласно приведенным ниже формулам.

Для нормального распределения

$$\left. \begin{aligned} L_B &= B_{\max} - K0,5\delta; \\ L_H &= B_{\min} + K0,5\delta; \\ L_R &= v\delta. \end{aligned} \right\} \quad (15.26)$$

Для однопараметрических законов

$$L = W\delta. \quad (15.27)$$

Значения коэффициентов в этих формулах приводятся в табл. 15.21.

ТАБЛИЦА 15.21

Коэффициенты для контрольных линий

Объем выборки n экз.	Нормальный закон распределения		Значение W для законов распределения	
	K для средних \bar{X}	v для раз- махов R	Максвелла	нормального модуля упрощенного
4	0,45	0,78	0,630	0,548
5	0,51	0,82	0,603	0,519
6	0,55	0,85	0,581	0,497

Указанные в табл. 15.21 значения K рассчитаны при ошибке второго рода $q\% = 0,25\%$ (по каждому пределу) и при ошибке первого рода (ошибочного сигнала) $P_a\% = 0,1\%$; значения v соответствуют $q\% = 0,27\%$ и $P_a\% = 1,0\%$. Для значения W были приняты вероятности $q\% = P_a\% = 0,27\%$.

Цели анализа точности не требуют жесткой регламентации линий L_B , L_H , L_R и L . Более строгий подсчет показал, что если при-

нять $K = 0,5$ для $n = 4 \div 6$, то P_a % не превысит 0,2%, а критерий максимальной ошибки второго рода $P_{b_{\max}}$ % = 3,4% при $Tn = K_T = 1$ [7].

Если точки наблюдаемых статистических характеристик \bar{X} и R находятся внутри зон контрольных пределов, т. е. $L_v - L_n$ и $0 - L_R$ или $0 - L$, то процесс изготовления в отношении изучаемого признака точен (по рассеянию) и правилен по настроенности и нет оснований для предположений о появлении брака или нестандартных свойств.

По данным наблюдений производятся текущий и последующий анализы.

При текущем анализе непосредственно в процессе наблюдения делаются выводы о характере процесса, его точности, стабильности, устойчивости и выявляются некоторые причины разладок процесса изготовления. Нужно иметь в виду следующее.

1. Влияние систематических погрешностей, приводящих к нарушению хода процесса, отражается на положении точек \bar{X} , характеризующих настроенность процесса, а влияние несистематических (в основном случайных) погрешностей — преимущественно на положение точек R , характеризующих однородность (рассеяние) признака качества во времени.

2. Общая точность процесса характеризуется при двухпараметрических законах распределения обоими графиками \bar{X} и R . Так, даже значительная величина R не является основанием для заключения о возможной дефектности продукции, если точки \bar{X} той же выборки расположились близко к заданному среднему $V_{\text{ср}}$ (8-я выборка, рис. 15.4); аналогичное следует, если точка R близка к нулю, но точка \bar{X} лежит на линиях L_n или L_v или немного вне зоны L_n .

3. Стабильность хода процесса определяется по характеру колебаний точек \bar{X} и R во времени и может оцениваться объективными критериями [4, 7, 12]. Приближенно можно считать процесс сравнительно стабильным, если колебания точек не превосходят половины своих зон контрольных пределов, и при этом устойчивым, если перерывы и регулировки агрегатов (автоматически действующих) не возникают чаще чем один раз в смену [7].

4. Фиксация причин остановок и регулировок процесса при анализе любых агрегатов, а в особенности автоматических станков, поточных и автоматических линий, изучение технологических факторов, приводящих к резким выбросам точек на графиках, помогают выявить главные виды производственных погрешностей, установить степень устойчивости процесса [4, 7] и наметить меры к улучшению, на основе дополнительных экспериментов, если это необходимо. Следует привлекать корреляционный (п. 3) и дисперсионный анализы, методы серий и инверсий [4, 7, 12, 16] и другие статистические приемы исследования. Устойчивость процесса характеризуется продолжительностью безподналадочной работы станка.

Выявлению доминирующих причин разладок способствует их учет (без построения контрольных диаграмм) в течение нескольких смен [7].

П о с л е д у ю щ и й а н а л и з заключается в обработке результатов всех m выборок ($mn = N$) по методике, изложенной в разделе о одновременных выборках (стр. 884). При этом оценку мгновенного

рассеяния удобно производить через мгновенное среднее квадратическое отклонение по среднему выборочному размаху

$$s_{\bar{\sigma}} = \frac{\bar{R}}{d_n}, \quad (15.28)$$

где \bar{R} — средний выборочный размах, определяемый по ряду размахов; d_n — параметр, зависящий от объема n выборки:

$$d_n: \dots: \begin{matrix} 4 \\ 2,0588 \end{matrix} \quad \begin{matrix} 5 \\ 2,3259 \end{matrix} \quad \begin{matrix} 6 \\ 2,5344 \end{matrix} \quad \begin{matrix} 7 \\ 2,7044 \end{matrix} \quad \begin{matrix} 8 \\ 2,8472 \end{matrix} \quad \begin{matrix} 9 \\ 2,9700 \end{matrix} \quad \begin{matrix} 10 \\ 3,0775 \end{matrix}$$

Значения d_n найдены для выборок из нормально распределенной совокупности. Однако позднейшие исследования доказали возможность использования d_n в случаях других законов распределения, причем наибольшее увеличение погрешности оценки $s_{\bar{\sigma}}$ через \bar{R} не превысит 5%.

Характеристика $s_{\bar{\sigma}}$ не зависит от положения \bar{X} на графике. Всегда имеет место соотношение $s_{\bar{\sigma}} \leq s$, где s относится ко всей выборочной совокупности объема N . Можно положить, что достижимая точность процесса характеризуется $s_{\bar{\sigma}}$. Так, для признаков качества, распределяющихся по нормальному закону, можно принять за величину достижимой точности $K_d = 5s_{\bar{\sigma}}$, для \bar{X} , распределяющихся по закону Максвелла, — $K_d = 2,2 \bar{X}$.

Указанное выше соотношение для s может быть принято для приближенной оценки стабильности $s_{\bar{\sigma}}$ ряда выборок, применив критерий стабильности

$$K_s = \frac{\bar{s}_{\bar{\sigma}}}{s} \quad (0 \leq K_s \leq 1), \quad (15.29)$$

где $\bar{s}_{\bar{\sigma}}$ — усредненное среднее квадратическое отклонение ряда мгновенных выборок; для нормального распределения характеристики процесса стабильны, если $K_s \approx 1$.

Критерий K_s реагирует как на изменение $s_{\bar{\sigma}}$, так и на изменение текущего \bar{X}_t , причем последнее сказывается ощутимее. Для устойчивых и относительно устойчивых процессов обработки $K_s \geq 0,6$.

Критерии стабильности должны использоваться различные в зависимости от вида распределения и характера изменения x_t , \bar{X}_t , \bar{X} или $s_{\bar{\sigma}}$ во времени: монотонно равномерного, с трендом, циклического или с экстремами [4, 7]. Ряд критериев установлен ГОСТ 16467—70.

Комплексный анализ качества процессов производства помогает решать многочисленные технологические задачи, касающиеся улучшения процессов обработки, настройки станков и линий, испытания оборудования на технологическую точность и после ремонта, проверки надежности работы машин и приборов, оценки качества технологической оснастки, разработки нормативов на припуски, допуски и т. п.

Цель испытаний металлорежущих станков на технологическую точность заключается в статистической оценке результатов их работы.

Кратко методика оценки заключается в отборе двух-трех мгновенных непрерывных выборок, каждая объемом 30—50 экз., взятых подряд (без подналадки станка) по ходу процесса обработки деталей, типичных для данного агрегата, с соблюдением рациональных режимов

резания, материала режущего инструмента и т. д. Разбивкой этих выборок на последовательные порции в 5 экз. определяется по измерениям размеров деталей s_0 по формуле (15.28). Для оценки отклонений формы деталей находится общее \bar{X} .

Затем для оценки качества ремонта, модернизации станка или его состояния (через квартал, полгода и т. д.) вновь производятся проверки точности размеров таких же деталей при сохранении всех первоначальных условий: числа и объема выборок, характера настройки и т. д.

Для оценки сопоставляют величины s_0 и \bar{X} первоначальных и последующих испытаний станков. За основную характеристику качества ремонта или модернизации станка рекомендуется коэффициент уточнения

$$K_{\text{ут}} = 1 - \frac{T_2}{T_1}, \quad (15.30)$$

где T_2 — усредненные характеристики \bar{s}_0 или \bar{X} , вычисленные по данным выборочных двух-трех партий деталей, изготовленных после ремонта или модернизации станка, а T_1 — то же до ремонта или модернизации.

Опыт показал, что улучшение станка является удовлетворительным, если $K_{\text{ут}}$ не менее 0,25 для погрешностей диаметров и длин и не менее 0,4 для погрешностей формы и расположения поверхностей деталей [6].

Используя технологический допуск, Р. С. Кайрук предложил оценивать качество работы автоматов по технологическому допуску δ_T , который определяется через заданный допуск δ_p , как $\delta_T = \gamma \delta_p$, причем коэффициент γ можно принимать для токарно-револьверных автоматов равным 0,55, для автоматов продольного точения — 0,7 и для бесцентровошлифовальных станков — 0,8.

5. СТАТИСТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Статистическое регулирование заключается в корректировке параметров технологического процесса (операции, установки и т. д.) в ходе производства с помощью выборочного контроля изготавливаемой продукции для обеспечения требуемого качества и предупреждения брака.

Одним из прогрессивных методов статистического регулирования качества является метод автоматического управления (или блокировки) процессом изготовления продукции на базе получаемой информации о результатах процесса, иначе говоря, автоматизация с помощью обратной связи по результатам. Информация может быть получена с помощью последующего контроля на контрольных автоматах, средствами активного контроля, встроенными в станок, или, наконец, с помощью отдельных устройств в автоматических линиях.

Полученная информация преобразуется в сигналы или импульсы, управляющие станком или инструментом; имеются особые устройства — подналадчики, осуществляющие регулировку или смену инструмента.

Обратная связь по единичным показаниям, как правило, не дает хороших результатов. Поэтому информация должна носить статистический характер.

В табл. 15.22 приведены рекомендуемые значения параметров обеих систем обратной связи K (рис. 15.5), c и n , а также критерии оценок. Наиболее целесообразна с точки зрения величин критериев вторая система, но для нее требуются суммирующие блоки. Кроме того, вследствие усреднения управляющий импульс будет возникать с запаздыванием против первой системы [7].

Стандартизованы два метода статистического регулирования технологических процессов: а) метод средних арифметических значений (\bar{X}) и размахов R , ГОСТ 15894—70 и б) метод медиан (\tilde{X})¹ и индивидуальных значений (x_i), ГОСТ 15893—70².

Стандарты распространяются на технологические процессы с запасом точности K_T в пределах 0,75—0,85 ($Tn = 1,18 \div 1,34$) и показатели качества продукции, значения которых распределяются по закону Гаусса или Максвелла (табл. 15.1) и устанавливают общие положения и правила применения статистического регулирования технологического процесса на отдельных операциях и при приемке продукции, изготовленной между двумя выборками любым из двух перечисленных выше методов. Определяются статистические оценки \bar{X} и R или \tilde{X} и x_i результатов измерения показателей качества единиц продукции, входящих в выборку, с занесением этих оценок на контрольную карту.

Статистическое регулирование методом ($\bar{X} - R$) стандартом рекомендуется применять для процессов с высоким требованием к точности продукции; для процессов, связанных с обеспечением безопасности потребителя; экспресс-лабораторных анализов; для измерения вычисления и управления процессами по результатам определения статистических характеристик при наличии автоматических устройств.

Статистическое регулирование методом (\tilde{X} и x_i) рекомендуется применять во всех случаях при отсутствии автоматических средств измерения, вычисления и управления процессами по статистическим оценкам хода процесса.

Главнейшие из общих положений обоих стандартов следующие: — внедрение методов основывается на результатах предварительной оценки точности, настроенности и стабильности технологических процессов;

— разрабатываются технологами правила регулирования и оформляются по формам, прилагаемым к стандартам;

— инструкционная карта регулирования составляется для наиболее ответственного показателя качества на данной операции; диаграммы ведутся, как правило, для одного показателя качества, а остальные показатели проверяются обычными методами, и результаты проверки заносятся условными знаками в контрольную карту.

— обычно объем выборки принимают от 3 до 10 шт., а период отбора выборок определяется опытным путем;

— инструкционная карта регулирования является технологической инструкцией и прилагается к технологическим картам процесса.

¹ О медиане см. стр. 865.

² Оба стандарта разработаны ВНИИС, главным инженером Горьковского автомобильного завода (ГАЗ) Ф. Д. Чинченко и руководителем работ ГАЗ инж. Е. Я. Новаковским и обобщают более чем 20-летний опыт широкого внедрения методов на ГАЗ.

ТАБЛИЦА 15.22
Варианты параметров систем обратной связи (нормальный закон распределения)

Точность процесса	Критерия 1 и 2-го рода	Система повторных импульсов				Система усредненных импульсов						
		$K = 0,4$		$K = 0,5$		$K = 0,4$						
		$c = 2$	$c = 3$	$c = 2$	$c = 3$	n экз.						
						4	5	6	4	5	6	
Недостаточная $Tn = 0,8, K_{\varphi} = 1,25$	$P_{b\max}, \%$	9,7	13,3	13,1	17,5	3,8	3,8	3,8	5,8	5,8	5,8	5,8
Удовлетворительная $Tn = K_T = 1,0$	$P_{a^*}, \%$	5,3	1,2	1,8	0,24	1,6	0,8	0,4	0,2	~0	~0	~0
	$P_{a^*}, \%$	6,0	1,2	2,0	0,25	2,5	1,4	0,7	0,4	0,15	0,15	0,05
	$P_{b\max}, \%$	6,0	8,4	9,2	12,5	1,8	1,8	1,8	3,4	3,4	3,4	3,4
Повышенная $Tn = 1,2, K_{\varphi} = 0,83$	$P_{a^*}, \%$	2,2	0,34	0,5	0,04	0,4	0,2	0,04	0,04	~0	~0	~0
	$P_{a^*}, \%$	8,0	2,0	2,9	0,4	2,4	2,0	1,2	3	2	1	1
	$P_{b\max}, \%$	3,4	4,9	6,1	8,6	0,85	0,76	0,75	1,8	1,8	1,8	1,8

Примечания

1. За нуль приняты величины менее 0,01%.

2. Приведенное значение P_b определено для групп процессов; A — точность и стабильность характеристик недостаточная, $|E| = 0,1 \div 0,19$ и B — те же показатели удовлетворительные или высокие, $|E| = 0,3 \div 0,39$. Для системы повторных импульсов P_b составляет 35—45% от $P_{b\max}$ для обеих групп процессов. Для системы усредненных импульсов P_b составляет 70—80% от $P_{b\max}$ также для процессов групп A и B .

Наиболее существенные из правил статистического регулирования технологических процессов обоих стандартов перечислены ниже.

Метод $\bar{X}-R$ согласно ГОСТ 15894—70.

1. При удовлетворительном ходе процесса, т. е. при нахождении значений \bar{X} и (или) R внутри границ регулирования P_v-P_n и $0-P_{vr}$ при законе Гаусса (рис. 15.6), внутри зоны $0-P_v$ для закона Максвелла (рис. 15.7) допускается* совмещать регулирование процесса и приемку продукции, изготовленной между двумя очередными выборками.

2. Выход \bar{X} и (или) R за указанные в п. 1 границы регулирования сигнализирует о нарушении нормального хода процесса. В этом случае необходимо взять внеочередную выборку, и если будут такие же результаты, то нужно прекратить работу и устранить причину, вызвавшую нарушение нормального хода. На контрольной карте (рис. 15.6 и 15.7) делается отметка в виде стрелки. Совокупность продукции, изготовленной между двумя очередными выборками, должна подлежать сплошному контролю силами производственного персонала.

Метод $\bar{X}-x_i$ согласно ГОСТ 15893—70.

1. При удовлетворительном ходе процесса значения \bar{X} должны находиться внутри границ регулирования P_v-P_n , а крайние значения x_i — внутри границ $P_{vr}-P_{nr}$ на совмещенной диаграмме медиан и индивидуальных значений при законе Гаусса (рис. 15.8) или \bar{X} и x_{\max} внутри границ $0-P_v$ при законе Максвелла (рис. 15.9); остальное аналогично п. 1 для метода $\bar{X}-R$.

2. Содержание пункта аналогично п. 2 для метода $\bar{X}-R$.

На рис. 15.6—15.9 нанесены также линии пределов поля допуска: верхнего — $T_v = B_{\max}$ и нижнего — $T_n = B_{\min}$.

Расчет границ регулирования производится по обоим стандартам в зависимости от объема выборки исходя из значений допуска. При этом в методах $(\bar{X}-R)$ и $(\bar{X}-x_i)$ вероятность нахождения \bar{X} или \bar{X} внутри границ регулирования равна 0,9973, если коэффициент точности $K_T(T_n)$ равен единице, а коэффициент настроенности технологического процесса K_n равен нулю¹. Для размахов R в этом случае значение вероятности равно 0,995. При применении индивидуальных значений x_i (метод $\bar{X}-x_i$) значения вероятности нахождения полуразмахов внутри границ регулирования P_v и P_{nr} равны 0,995.

Границы регулирования метода $(\bar{X}-R)$ согласно ГОСТ 15894—70 для значений показателя качества, распределяемых по закону Гаусса, вычисляются по формулам:

$$P_v = T_v - A_6 0,5\delta; \quad P_n = T_n + A_6 0,5\delta, \quad (15.31)$$

где δ — допуск (обозначение принято по ГОСТ 16467—70, что совпадает с практикой применения допусков); T_v и T_n — верхний и нижний пределы допуска (т. е. предельные размеры B_{\max} и B_{\min}).

¹ ГОСТ 15893—70 и ГОСТ 15894—70 не приводят формулу, определяющую коэффициент K_n , а по ГОСТ 16467—70 $K_n = \frac{x_n - \bar{X}_1}{s}$, где индекс n означает заданный центр настройки станка, а \bar{X}_1 — выборочное среднее первой мгновенной выборки.

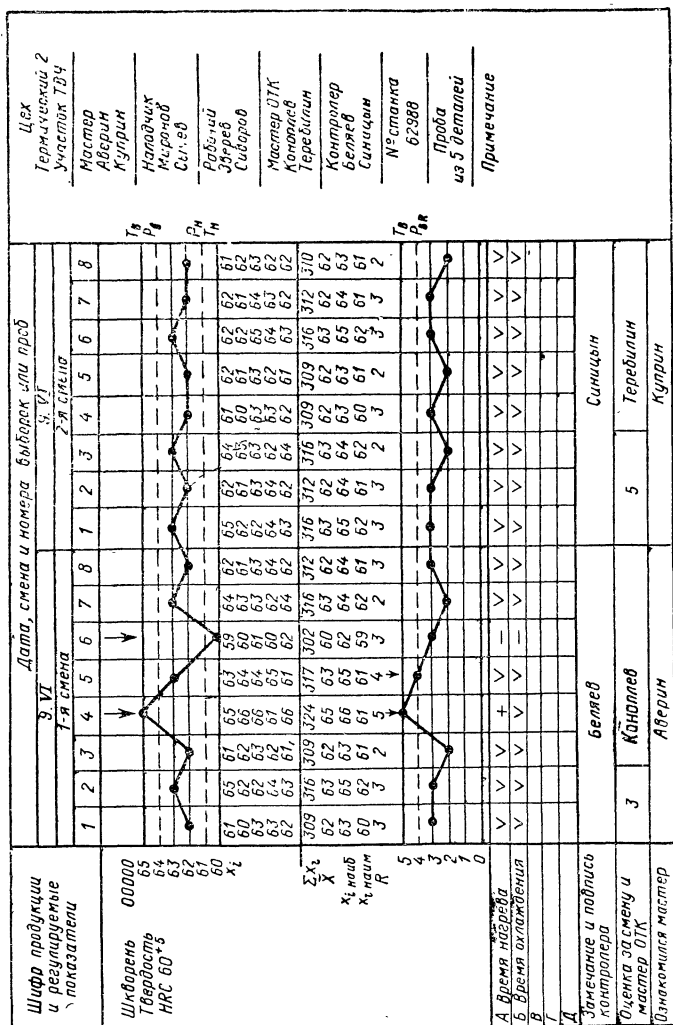
Образец заполнения контрольной карты (метод $\bar{X} - R$). Закон Гаусса

Рис. 15. 6

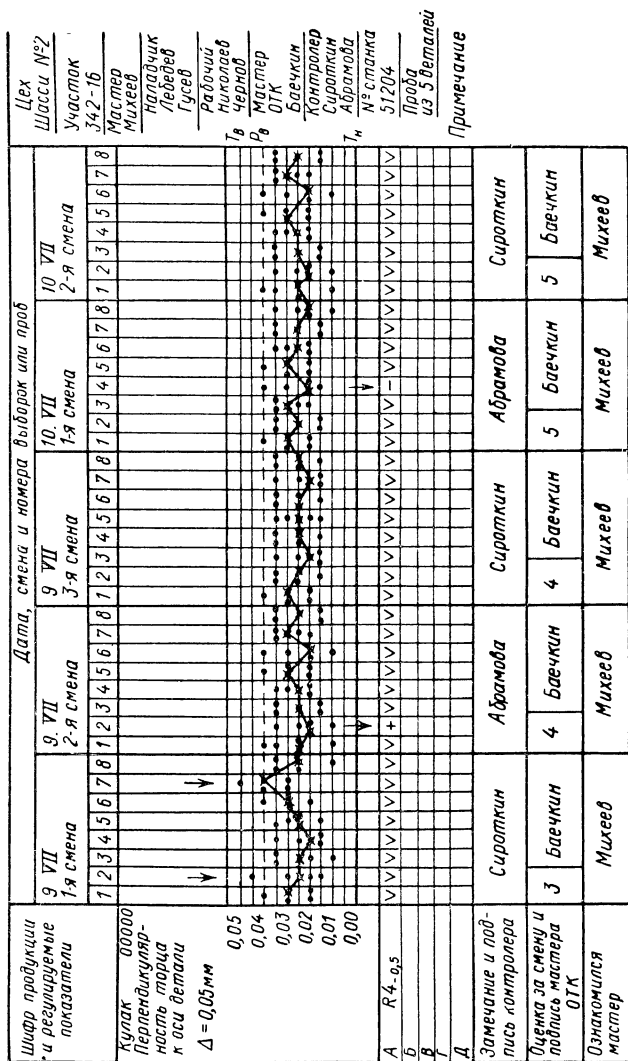
Образец заполнения контрольной карты (метод $\bar{X} - x_1$). Закон Максвелла.

Рис. 15.9

Границы регулирования в этом случае для размахов вычисляются по формуле

$$P_{вR} = D_3 \cdot 0,5 \delta, \quad (15.32)$$

где $P_{вR}$ — верхняя граница регулирования размахов.

Единственная верхняя граница регулирования P_v для тех же показателей, но распределяемых по закону Максвелла, вычисляется по формуле

$$P_v = A_7 \delta. \quad (15.33)$$

Значения коэффициентов A_6 , D_3 и A_7 приведены в табл. 15.23.

ТАБЛИЦА 15.23

Коэффициенты для расчета границ регулирования

n	A_6	D_3	A_7	D_6
3	0,423	1,45	0,69	0,275
4	0,500	1,56	0,65	0,220
5	0,553	1,63	0,62	0,185
6	0,592	1,68	0,60	0,160
7	0,622	1,72	0,58	0,140
8	0,646	1,75	0,57	0,120
9	0,667	1,78	0,55	0,100
10	0,684	1,81	0,54	0,090

На рис. 15.6 нанесены линии границ регулирования, рассчитанных согласно формулам (15.31) и (15.32), а на рис. 15.7 — согласно формуле (15.33) и значениям коэффициентов табл. 15.23.

Границы регулирования метода ($\tilde{X} - x_i$) согласно ГОСТ 15893—70 для значений медиан \tilde{X} и полуразмахов выборок показателей качества, распределяемых по закону Гаусса,

$$\left. \begin{aligned} P_v &= T_v - 0,8A_6 \cdot 0,5\delta; \\ P_n &= T_n + 0,8A_6 \cdot 0,5\delta; \\ P_{вР} &= T_v - D_6 \cdot 0,5\delta; \\ P_{нР} &= T_n + D_6 \cdot 0,5\delta. \end{aligned} \right\} \quad (15.34)$$

Верхняя граница регулирования медиан и крайних значений (P_v) показателей качества, распределяемых по закону Максвелла, вычисляется по формуле

$$P_v = 1,2A_7 \delta. \quad (15.35)$$

Значения коэффициентов A_6 , D_6 и A_7 — в табл. 15.23.

На рис. 15.8 и 15.9 нанесены линии границ регулирования, рассчитанных согласно формулам (15.34) и (15.35) и значениям коэффициентов табл. 15.23.

В указанных выше ГОСТах имеются образцы заполненных инструкционных карт и помещены примеры расчета границ регулирования.

На машиностроительных предприятиях внедрены также нестандартные методы регулирования ходом процессов изготовления.

В связи со стандартизацией пределов допускаемых погрешностей измерения по ГОСТ 8051—73 может быть введен производственный допуск, сокращенный против назначенного на чертежах поля допуска. На этой основе целесообразно применять статистический метод сокращенного допуска [13].

Границы регулирования отстоят от пределов поля допусков T_v и T_n внутрь поля допуска на величину 0,18 в случае нормального распределения показателей качества и на 0,28 от верхнего предела T_v в случае распределения Максвелла. При объеме выборки $n = 6$ ошибка второго рода составит около 1—2%, а ошибка первого рода — 4—9% для обоих видов распределений; при $n = 5$ аналогичные ошибки будут равны 2—2,5% и 3—8%.

При пользовании диаграммами наносятся каждое из наблюдаемых значений x_i или только крайнее из них x_{\max} и x_{\min} . Можно также пользоваться калибрами сокращенного допуска. Процесс считается неудовлетворительным, если хотя бы одно значение x_i из выборочных n вышло из границ регулирования или хотя бы одна деталь забракована калибром с сокращенным допуском. Разумеется, не требуется располагать еще предельными калибрами ПР и НЕ, соответствующими допуску, назначенному на чертеже.

Разработаны другие варианты и модификации этого метода [7]. На Горьковском автомобильном и некоторых других заводах внедрен метод пяти групп качества, который был опробован экспериментально. Он оказался полезным для регулирования процессов изготовления деталей по трудноизмеряемым размерам, например при нарезании внутренней резьбы небольших и средних диаметров (табл. 15.24).

Группы качества (резьбы)

ТАБЛИЦА 15.24

Группа.	Калибр	Признаки группы качества
— Б	ПР НЕ	Не свинчивается » »
(—)	ПР НЕ	Свинчивается туго Не свинчивается
Н	ПР НЕ	Свинчивается свободно Не свинчивается
(+)	ПР НЕ	Свинчивается свободно » на 3,5 оборота
+ Б	ПР НЕ	Свинчивается свободно Свинчивается

Критерий оценки процесса следующий: для выборок $n = 10$ экз. процесс неудовлетворителен если 5 экз. из 10 оказались в предупредительных зонах (+) и (—) или хотя бы одно значение оказалось в зонах дефектности (+Б) или (—Б). В остальных случаях процесс признается удовлетворительным.

Возможность оценки хода процесса с помощью обычных предельных калибров и простота этого органолептического метода способствовали его внедрению¹.

6. СТАТИСТИЧЕСКИЙ ПРИЕМОЧНЫЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА

Это — выборочный контроль качества продукции, при котором используются статистические методы для обоснования плана контроля или корректировки этого плана по накопленной информации [2].

Существует много методов этого контроля: одноступенчатый двухступенчатый, многоступенчатый, последовательный, с корректируемым планом (скользящий), усеченный [2] и др.

В п. 5 (стр. 915) отмечены условия, при которых допускается в государственных методах совмещать статистическое регулирование технологического процесса с периодической приемкой продукции.

Известно, что с п л о ш н о й к о н т р о л ь продукции не гарантирует от ошибок 1 и 2-го рода. По данным военной приемки продукции в США, погрешности составляют от 1 до 5%. Сплошной контроль невозможен, если в результате проверки годности изделие разрушается или повреждается.

П р и с т а т и с т и ч е с к о м п р и е м о ч н о м к о н т р о л е объем выборки n и приемочное число C характеризуют процедуру контроля, соответствующую заранее установленному уровню качества продукции в принятых партиях с гарантированными рисками потребителя и изготовителя (ошибки 1 и 2-го рода).

Следует указать на некоторые неправильные представления о выборочном контроле.

Иногда применяют нестатистический выборочный контроль, при котором приравнивают долю дефектов в выборке к доле дефектов в проверяемой партии. Между тем, если, например, действительная доля дефектности партии составляет 10% и производится выборка $n = 10$ экз. с приемочным числом $C = 0$, то вероятностный расчет показывает, что только в 39% случаев контроля в выборке окажется одно дефектное изделие. В остальных 61% случаев доли дефектной продукции в выборке и в партии не будут одинаковы. При этом в 35% случаев в выборке не окажется дефектных изделий, а в 26% — в выборке будет более одного дефектного изделия.

В некоторых технических условиях контроль осуществляется выборкой 5 или 10% от объема N партии и $C = 0$. Если N невелико, то может оказаться недопустимой засоренность дефектными изделиями в принятой партии. Наоборот, к партиям с большим N будут предъявлены весьма жесткие требования к входному качеству.

¹ Возможность применения органолептических методов предусмотрена ГОСТ 16431—70. Комиссией Госстандарта СССР в 1971 г. утверждена «Методика группировки».

Необходимо различать планы контроля по среднему уровню выходного качества, при котором устанавливается средняя доля дефектных единиц (q_L) в ряде принятых партий и в потоке продукции, от контроля по уровню выходного качества, при котором устанавливается доля дефектных единиц (q_m) в каждой принятой партии. Как очевидно из дальнейшего, при контроле по q_L дефектность в каждой принятой партии будет значительно превышать дефектность по q_m , если заданы одинаковые значения допустимой дефектности (т. е. $q_L = q_m$).

Одним из распространенных является контроль с контролируемым планом. В этом случае план контроля может быть изменен в зависимости от результатов контроля некоторого числа предыдущих контролируемых партий продукции (ранее назывался планом скользящего контроля). Таким является приемочный статистический контроль качества с учетом процента принятых партий с первого предъявления ПСК (H) согласно ГОСТ 16490—70.

Этот стандартный метод применим на предприятиях, осуществляющих массовый и серийный выпуск продукции (не менее 100 партий однотипных изделий, а в опытном производстве не менее 50 партий однотипных изделий в год).

Программа ПСК (H) представляет систему планов с приемочным числом $C = 0$, соответствующих одному и тому же гарантийному уровню качества продукции, но с различными значениями процента принятых партий с первого предъявления (H).

Программой ПСК (H) предусмотрены два гарантийных уровня качества продукции:

по браковочному уровню качества q_m и фактическому риску потребителя $\beta^* = 0,05$ или $\beta^* = 0,10$;

по пределу среднего выходного качества q_L .

Уровень q_m с риском β^* стандарт рекомендует использовать при необходимости обеспечения однородности (по уровню качества) принятых партий или при изготовлении не более пяти партий однотипных изделий в смену. В остальных случаях рекомендуется изготавливать планы q_L .

Стандарт предусматривает выбор программы для двух типов контроля по альтернативному признаку и с помощью контроля случайной выборки (стр. 854), взятой из партии:

D_1 — принимается одно из двух решений: принять партию без дополнительного контроля или провести 100-процентную разбраковку партии с изъятием обнаруженных дефектных изделий и замены их годными;

D_2 — принимается решение: принять партию или отвергнуть ее.

В табл. 15.25 помещены планы контроля типа D_1 для наиболее применяемых q_m % и $\beta = 0,10$, а в табл. 15.26 — планы контроля типа D_1 , но для наиболее распространенных q_L %. Аналогичные табл. 15.27 и 15.28 содержат планы контроля типа D_2 . В тех таблицах, где отправной величиной является q_m %, помещены соответствующие значения q_L %, и наоборот.

Согласно стандарту контроль начинают с выборки объемом n , соответствующим неизвестному проценту принятых партий с первого предъявления H .

После завершения контроля партий, число которых не должно быть меньше заданного числа M в течение периода, не меньшего T , объем выборки n уменьшают согласно установленной программе ПСК (H)

ТАБЛИЦА 15.25

Планы контроля типа Д₁ при $C = 0$, $\beta^* = 0,10$
(из табл. 1 ГОСТ 16490—70)

q_m в %	Показатели плана контроля	% принятых партий с первого предъявления H							
		Неизвестно	70,0	80,0	90,0	95,0	97,5	99,0	$\geq 99,5$
1,30	Объем выборки n (H)	175	110	85	55	35	20	10	5
	q_m (H) в %	1,30	1,30	1,30	1,25	1,15	1,10	1,00	$\leq 1,00$
	q_L (H) в %	0,20	0,20	0,20	0,20	0,10	0,10	0,10	$\leq 0,10$
1,50	Объем выборки n (H)	150	100	75	50	30	15	10	5
	q_m (H) в %	1,50	1,40	1,45	1,40	1,35	1,30	1,00	$\leq 1,00$
	q_L (H) в %	0,25	0,25	0,25	0,20	0,15	0,15	0,10	$\leq 0,10$
1,85	Объем выборки n (H)	125	75	60	40	25	15	10	5
	q_m (H) в %	1,85	1,85	1,85	1,70	1,60	1,50	1,00	$\leq 1,00$
	q_L (H) в %	0,30	0,30	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10	$\leq 0,10$
2,30	Объем выборки n (H)	100	60	50	30	20	10	5	5
	q_m (H) в %	2,30	2,30	2,15	2,10	2,00	2,00	1,85	$\leq 1,00$
	q_L (H) в %	0,35	0,35	0,35	0,30	0,25	0,25	0,20	$\leq 0,10$
3,00	Объем выборки n (H)	75	50	40	25	15	10	5	5
	q_m (H) в %	3,00	2,75	2,75	2,75	2,65	2,20	1,85	$\leq 1,00$
	q_L (H) в %	0,50	0,50	0,45	0,40	0,30	0,25	0,20	$\leq 0,10$
3,75	Объем выборки n (H)	60	40	30	20	15	10	5	5
	q_m (H) в %	3,75	3,40	3,65	3,40	2,65	2,20	1,85	$\leq 1,00$
	q_L (H) в %	0,60	0,60	0,60	0,50	0,30	0,25	0,20	$\leq 0,10$
4,50	Объем выборки n (H)	50	30	25	15	10	5	5	5
	q_m (H) в %	4,50	4,50	4,35	4,50	3,95	3,35	1,85	$\leq 1,00$
	q_L (H) в %	0,75	0,80	0,70	0,65	0,50	0,50	0,20	$\leq 0,10$
5,60	Объем выборки n (H)	40	25	20	15	10	5	5	5
	q_m (H) в %	5,60	5,40	5,40	4,50	3,95	3,35	1,85	$\leq 1,00$
	q_L (H) в %	0,90	1,00	0,90	0,65	0,50	0,50	0,20	$\leq 0,10$

ТАБЛИЦА 15.26

Планы контроля типа Д₁ при С = 0
(из табл. 3 ГОСТ 16490—70)

q_L в %	Показатели плана контроля	% принятых партий с первого предъявления H							
		Неиз- вестно	70,0	80,0	90,0	95,0	97,5	99,0	$\geq 99,5$
0,50	Объем выборки n	75	50	40	25	15	10	5	5
	$q_L (H)$ в %	0,50	0,50	0,45	0,40	0,30	0,25	0,20	$\leq 0,10$
	$q_m (H)$ в %	3,00	2,75	2,75	2,75	2,60	2,30	1,85	$\leq 1,00$
0,60	Объем выборки n	60	45	35	20	15	10	5	5
	$q_L (H)$ в %	0,60	0,55	0,50	0,45	0,30	0,25	0,20	$\leq 0,10$
	$q_m (H)$ в %	3,75	3,05	3,10	3,40	2,65	2,30	1,85	$\leq 1,00$
0,75	Объем выборки n	50	35	25	15	10	5	5	5
	$q_L (H)$ в %	0,75	0,70	0,70	0,65	0,50	0,50	0,20	$\leq 0,10$
	$q_m (H)$ в %	4,50	3,95	4,35	4,50	3,95	4,35	1,85	$\leq 1,00$
0,90	Объем выборки n	40	30	20	15	10	5	5	5
	$q_L (H)$ в %	0,90	0,85	0,90	0,65	0,50	0,50	0,20	$\leq 0,10$
	$q_m (H)$ в %	5,60	4,50	5,40	4,50	3,95	4,35	1,85	$\leq 1,00$
1,25	Объем выборки n	30	20	15	10	10	5	5	5
	$q_L (H)$ в %	1,25	1,25	1,20	0,95	0,50	0,50	0,20	$\leq 0,10$
	$q_m (H)$ в %	7,40	6,70	7,15	6,70	3,90	4,35	1,85	$\leq 1,00$
1,50	Объем выборки n	25	20	15	10	5	5	5	5
	$q_L (H)$ в %	1,50	1,25	1,20	0,95	0,95	0,50	0,20	$\leq 0,10$
	$q_m (H)$ в %	8,80	6,70	7,15	6,70	7,70	4,35	1,85	$\leq 0,10$
1,85	Объем выборки n	20	15	10	10	5	5	5	5
	$q_L (H)$ в %	1,85	1,65	1,75	0,95	0,95	0,50	0,20	$\leq 0,10$
	$q_m (H)$ в %	10,90	8,85	10,50	6,70	7,70	4,35	1,85	$\leq 1,00$
2,45	Объем выборки n	15	10	10	10	5	5	5	5
	$q_L (H)$ в %	2,45	2,45	1,75	0,95	0,95	0,50	0,20	$\leq 0,10$
	$q_m (H)$ в %	14,25	12,95	10,50	6,70	7,70	4,35	1,85	$\leq 1,00$
3,75	Объем выборки n	10	10	10	10	5	5	5	5
	$q_L (H)$ в %	3,75	2,45	1,75	0,95	0,95	0,50	0,20	$\leq 0,10$
	$q_m (H)$ в %	20,60	12,95	10,50	6,70	7,70	4,35	1,85	$\leq 1,00$

Планы контроля D_2 при $C = c$, $\beta^* = 0,10$
(из табл. 4 ГОСТ 16490—70)

ТАБЛИЦА 15.27

q_m в %	Показатели плана контроля	% принятых партий с первого предъявления H							
		Неиз- вестно	70,0	80,0	90,0	95,0	97,5	99,0	$\geq 99,5$
1,30	Объем выборки n (H)	175	125	100	60	35	20	10	5
	q_m (H) в %	1,30	1,30	1,25	1,25	1,20	1,10	0,95	$\leq 1,00$
	q_L (H) в %	—	0,30	0,20	0,20	0,15	0,15	0,10	$\leq 0,10$
1,50	Объем выборки n (H)	150	110	85	50	30	15	10	5
	q_m (H) в %	1,50	1,50	1,50	1,40	1,40	1,50	0,95	$\leq 1,00$
	q_L (H) в %	—	0,35	0,25	0,15	0,15	0,15	0,10	$\leq 0,10$
1,85	Объем выборки n (H)	125	85	70	45	25	15	10	5
	q_m (H) в %	1,85	1,85	1,80	1,70	1,65	1,50	0,95	$\leq 1,00$
	q_L (H) в %	—	0,45	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10	$\leq 0,10$
2,30	Объем выборки n (H)	100	75	55	35	20	10	5	5
	q_m (H) в %	2,30	2,20	2,30	2,20	2,20	2,20	1,85	$\leq 1,00$
	q_L (H) в %	—	0,45	0,40	0,30	0,25	0,25	0,20	$\leq 0,10$
3,00	Объем выборки n (H)	75	55	45	25	15	10	5	5
	q_m (H) в %	3,00	3,00	2,75	2,80	2,75	2,20	1,85	$\leq 1,00$
	q_L (H) в %	—	0,65	0,50	0,40	0,35	0,25	0,20	$\leq 0,10$
3,75	Объем выборки n (H)	60	45	35	20	15	10	5	5
	q_m (H) в %	3,75	3,65	3,55	3,50	2,75	2,20	1,85	$\leq 1,00$
	q_L (H) в %	—	0,20	0,65	0,55	0,35	0,25	0,20	$\leq 0,10$
4,50	Объем выборки n (H)	50	40	30	20	10	5	5	5
	q_m (H) в %	4,50	4,10	4,05	3,70	4,10	4,35	1,85	$\leq 1,00$
	q_L (H) в %	—	0,90	0,75	0,55	0,50	0,50	0,20	$\leq 0,10$
5,60	Объем выборки n (H)	40	30	25	15	10	5	5	5
	q_m (H) в %	5,60	5,40	4,85	4,90	4,10	4,35	1,85	$\leq 1,00$
	q_L (H) в %	—	1,20	0,90	0,70	0,50	0,50	0,20	$\leq 0,10$

ТАБЛИЦА 15.28

Планы контроля типа D_2 при $C = 0$
(из табл. 6 ГОСТ 16490—70)

q_L в %	Показатели плана контроля	% принятых партий с первого предъявления H						
		Неиз- вестно	80,0	90,0	95,0	97,5	99,0	$\geq 99,5$
0,50	Объем выборки n (H)	75	45	25	15	10	5	5
	q_L (H) в %	—	0,50	0,40	0,35	0,25	0,20	$\leq 0,10$
	q_m (H) в %	3,00	2,75	2,95	2,75	2,20	1,85	$\leq 1,00$
0,60	Объем выборки n (H)	60	40	20	15	10	5	5
	q_L (H) в %	—	0,55	0,55	0,35	0,25	0,20	$\leq 0,10$
	q_m (H) в %	3,75	3,05	3,65	2,75	2,20	1,85	$\leq 1,00$
0,75	Объем выборки n (H)	50	30	20	10	5	5	5
	q_L (H) в %	—	0,75	0,55	0,50	0,50	0,20	$\leq 0,10$
	q_m (H) в %	4,50	4,05	3,65	4,10	4,35	1,85	$\leq 1,00$
0,90	Объем выборки n (H)	40	25	15	10	5	5	5
	q_L (H) в %	—	0,90	0,70	0,50	0,50	0,20	$\leq 0,10$
	q_m (H) в %	5,60	4,85	4,85	4,10	4,35	1,85	$\leq 1,00$
1,20	Объем выборки n (H)	30	20	10	10	5	5	5
	q_L (H) в %	—	1,10	1,05	0,50	0,50	0,20	$\leq 0,10$
	q_m (H) в %	7,40	6,00	7,30	4,10	4,35	1,85	$\leq 1,00$
1,50	Объем выборки n (H)	25	15	10	5	5	5	5
	q_L (H) в %	—	1,50	1,05	1,00	0,50	0,20	$\leq 0,10$
	q_m (H) в %	8,80	7,95	7,30	8,00	4,35	1,85	$\leq 1,00$
1,80	Объем выборки n (H)	20	15	10	5	5	5	5
	q_L (H) в %	—	1,50	1,05	1,00	0,50	0,20	$\leq 0,10$
	q_m (H) в %	10,90	7,95	7,30	8,00	4,35	1,85	$\leq 1,00$
2,40	Объем выборки n (H)	15	10	5	5	5	5	5
	q_L (H) в %	—	2,20	2,10	1,00	0,50	0,20	$\leq 0,10$
	q_m (H) в %	14,25	11,65	13,85	8,00	4,35	1,85	$\leq 1,00$
3,50	Объем выборки n (H)	10	10	5	5	5	5	5
	q_L (H) в %	—	2,20	2,10	1,00	0,50	0,20	$\leq 0,10$
	q_m (H) в %	20,60	11,65	13,85	8,00	4,35	1,85	$\leq 1,00$

в зависимости от достигнутого значения H , если H больше или равно 70—80%. Это значение H становится нормативным на следующий период проведения контроля. После окончания следующего периода, но не менее T , и по числу партий не менее M , снова подсчитывают H и изменяют объем выборки n (H) в зависимости от достигнутого H . Эту процедуру продолжают в дальнейшем в указанном выше порядке.

Результаты контроля на всех его этапах фиксируются в журнал приемного контроля (см. приложение 2 к ГОСТ 16490—70).

Значения M и T приводятся в табл. 15.29, а H подсчитывается по формуле

$$H = \frac{S - K}{S} 100, \quad (15.36)$$

Значения M и T для получения нормативного значения H (по ГОСТ 16490—70)

H в %	Число партий M	Период T (месяцы)
Не более 97,5	50	1
99	100	3
99,5	200	6

где K — общее число забракованных из числа S партий первого предъявления на контроле.

Если подсчет H производится отдельно для каждой группы контролируемых размеров, параметров и т. п., то K означает число забракованных партий по соответствующей группе.

При изменении объема выборки, а также при возникновении

перерыва свыше месяца в производстве отсчет накопленных партий для определения H начинается заново.

Стандарт предписывает после каждого решения о браковке очередной партии производить подтверждение достигнутого нормативного значения H , чтобы исключить возможность поставки потребителю продукции более низкого качества, чем запланировано программой ПСК (H). Подтверждение производится по общему числу S (S меньше M) и по последним 20 проверенным партиям. Значение H считается подтвержденным, если число забракованных партий из числа S проверенных не превышает максимального допустимого числа забракованных партий согласно табл. 15.30 при заданных M , S и H и если число забракованных партий из числа 20 последних проверенных партий не превышает максимального допустимого числа забракованных партий согласно табл. 15.30 при тех же заданных M и H .

Если число забракованных партий из числа S больше соответствующего значения, приведенного в табл. 15.30 (для фиксированных M , S и достигнутого нормативного H), то контроль немедленно усиливают, увеличивая объем выборки в соответствии с новым нормативным значением H (табл. 15.30).

Если число забракованных партий из числа S проверенных не более соответствующего значения, приведенного в табл. 15.30, то дополнительно досчитывают число забракованных партий в последних 20 проверенных партиях. В случаях, когда подсчитанное число превышает соответствующее значение, приведенное в табл. 15.30, то контроль немедленно усиливают, увеличивая объем выборки в соответствии с новым нормативным значением H (табл. 15.30).

В ГОСТ 16490—70 приведены также таблицы планов контроля типов D_1 и D_2 при $\alpha = 0$ и $\beta^* = 0,05$ (табл. 3 и 5), примеры нахождения

ТАБЛИЦА 15.30
Максимально допустимое число забракованных партий,
соответствующее допустимому значению H
(по ГОСТ 16490—70)

M	Число проверенных партий S	Максимально допустимое число забракованных партий при достигнутых значениях процента принятых партий с первого предъявления H						
		70,0	80,0	90,0	95,0	97,5	99,0	99,5
50	10	5	4	2	2	1	—	—
	15	7	5	3	2	1	—	—
	20	9	6	4	2	1	—	—
	25	10	7	4	2	1	—	—
	30	11	8	5	3	2	—	—
	35	13	9	5	3	2	—	—
	40	14	10	5	3	2	—	—
	45	15	10	6	3	2	—	—
100	10	5	4	2	2	1	1	—
	15	7	5	3	2	1	1	—
	20	9	6	4	2	1	1	—
	25	11	8	5	3	2	1	—
	30	12	9	5	3	2	1	—
	35	14	10	6	3	2	1	—
	40	16	11	6	4	2	1	—
	45	17	12	7	4	2	1	—
	50	19	13	7	4	2	1	—
	55	20	14	8	4	3	1	—
	60	21	15	8	5	3	1	—
	65	23	16	9	5	3	1	—
	70	24	17	9	5	3	1	—
	75	26	18	9	5	3	1	—
	80	27	19	10	5	3	1	—
	85	28	19	10	6	3	1	—
	90	30	20	11	6	3	1	—
	95	31	21	11	6	3	1	—
200	10	5	4	2	2	1	1	—
	15	7	5	3	2	1	1	—
	20	9	6	4	2	1	1	1
	25	11	8	5	3	2	1	1

Продолжение табл. 15.30

М	Число проверенных партий S	Максимально допустимое число забракованных партий при достигнутых значениях процента принятых партий с первого предъявления H						
		70,0	80,0	90,0	95,0	97,5	99,0	99,5
200	30	13	9	5	3	2	1	1
	35	14	10	6	4	2	1	1
	40	16	12	7	4	2	1	1
	45	18	13	7	4	3	1	1
	50	20	14	8	5	3	1	1
	55	21	15	8	5	3	2	1
	60	23	16	9	5	3	2	1
	65	24	17	10	5	3	2	1
	70	26	18	10	6	3	2	1
	75	27	19	11	6	4	2	1
	80	29	20	11	6	4	2	1
	85	30	21	12	7	4	2	1
	90	32	22	12	7	4	2	1
	95	34	23	13	7	4	2	1
	100	35	24	13	7	4	2	1
	105	36	25	14	8	4	2	1
	110	38	26	14	8	4	2	1
	115	39	27	15	8	5	2	1
	120	41	28	15	8	5	2	1
	125	42	29	16	9	5	2	1
	130	44	30	16	9	5	2	1
	135	45	31	17	9	5	2	1
	140	47	32	17	9	5	2	1
	145	48	33	17	9	5	2	1
	150	49	34	18	10	5	2	1
	155	51	35	18	10	5	2	1
	160	52	36	19	10	5	2	1
	165	54	37	19	10	5	3	1
	170	55	37	20	10	6	3	1
	175	56	38	20	11	6	3	1
	180	58	39	20	11	6	3	1
	185	59	40	21	11	6	3	1
	190	60	41	21	11	6	3	1
	195	62	42	22	11	6	3	1

программы ПСК (H) при контроле типов D_1 и D_2 , а также изменение плана контроля вследствие колебания качества партий, предъявляемых контролю.

Утвержден также ГОСТ 16493—70 — статистический приемочный контроль по альтернативному признаку и в случае недопустимости дефектных изделий в выборке. Отличие этого стандарта в том, что в нем содержится метод последующих оценок средних уровней входного и выходного качества. Этим обеспечивается надзор за качеством продукции, облегчается корректировка плана контроля, становится возможным вычислять риск поставщика при применении выбранного плана, а также производить оценку деятельности подразделений, осуществляющих контроль, и т. д.

Утверждены также общесоюзные и отраслевые стандарты статистического приемочного контроля применительно к отраслям машиностроения. ГОСТ 16768—71 предназначен для проверки качества деталей тракторов и сельскохозяйственных машин; предусмотрен двухступенчатый контроль.

Имеются различные варианты статистического приемочного контроля: по унифицированным выборкам, для проверки качества партий малого объема и др. [13, 14].

Госстандартом СССР утверждена также «Методика по разработке стандартов на статистический приемочный контроль качества продукции по альтернативному признаку с учетом экономических показателей» (1972 г.).

Следует упомянуть о многолетней практике статистического приемочного контроля на Горьковском автозаводе, который может быть отнесен к унифицированному. Для ответственных деталей и критических показателей качества принят объем выборки 40 шт., а для остальных — 20 шт. Выборки отбираются в случайном порядке, и партия принимается, если в ней не обнаружено ни одного дефектного изделия. В партию включают 200—1000 изделий [11].

Список литературы

1. **Большев А. Н. и Смирнов Н. В.** Таблицы математической статистики. М., «Наука», 1965, 464 с.
2. **ГОСТ 15895—70.** «Качество продукции. Статистические методы управления качеством. Термины», М., 16 с.
3. **Коуден Д.** Статистические методы контроля качества. Пер. с англ. М., Физматгиз, 1961, 623 с.
4. **Кутай А. К. и Кордонский Х. Б.** Анализ точности и контроля качества в машиностроении с применением методов математической статистики. Л., Машгиз, 1958, 321 с.
5. **Кутай А. К. и Файнштейн Г. З.** Оценка качества продукции с помощью обобщенного закона распределения типа А. — «Стандарты и качество», 1966, № 6, с. 27—32.
6. **Кутай А. К. и Кайрук Р. С.** Технологическая точность станков и оценка качества их ремонта. — «Станки и инструмент», 1969, № 7, с. 12—14.
7. **Кутай А. К.** Исследование технологической точности и взаимозаменяемости в производственных условиях на базе математической статистики (с разработкой методики). Докт. дисс., 1969, 600 с.

8. Кутай А. К. О математико-статистическом анализе точности в индивидуальном и мелкосерийном производстве и о запасе точности. — В кн.: Взаимозаменяемость и технические измерения в машиностроении, Вып. 6. Л., «Машиностроение», 1972, 310 с.

9. Линник Ю. В. Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений, 2-е изд. М., Физматгиз, 1962, 350 с.

10. Митропольский А. К. Техника статистических вычислений. М., «Наука», 1971, 576 с.

11. Новаковский Е. Я. Статистические методы регулирования технологических процессов и контроля качества. — В кн.: Методы и системы улучшения качества продукции. ЛДНТП, 1971, с. 5—14.

12. Смирнов Н. В. и Дунин-Барковский И. В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений. 2-е изд. М., «Наука», 1965, 511 с.

13. Справочник по производственному контролю в машиностроении. Под общей ред. А. К. Кутая. М.—Л., Машгиз, 1956, с. 588—625.

14. Справочник по производственному контролю в машиностроении. Под общ. ред. А. К. Кутая, Изд. 2-е, М.—Л. Машгиз, 1964, с. 677—726.

15. Приборостроение и средства автоматизации. Справочник. Т. 1. Под ред. Б. А. Тайца. М., Машгиз, 1963, с. 1—90.

16. Хан Г. и Шапиро С. Статистические модели в инженерных задачах. Пер. с англ. М., «Мир», 1969, 395 с.

17. Хэнсен Б. Контроль качества. Пер. с англ., М., «Прогресс», 1968, 519 с.

18. Шевелев А. С. Исследование точности размерных связей в авиадвигателестроении. Докт. дисс., 1970, 320 с.

19. Шор Я. Б. и Кузьмин Ф. И. Таблицы для анализа и контроля надежности. М., «Советское радио», 1968, 284 с.

ТАБЛИЦЫ ФУНКЦИЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ВЕРОЯТНОСТНАЯ БУМАГА

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ТАБЛИЦА 1

$$\text{ЗНАЧЕНИЯ НОРМИРОВАННОЙ ФУНКЦИИ НОРМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ } \Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0000	0040	0080	0120	0160	0199	0239	0279	0319	0359	4	8	12	16	20	24	28	32	36
0,1	0398	0438	0478	0517	0557	0596	0636	0675	0714	0753	4	8	12	16	20	24	28	32	36
0,2	0793	0832	0871	0909	0948	0987	1026	1064	1103	1141	4	8	12	15	19	23	27	31	35
0,3	1179	1217	1255	1293	1331	1368	1406	1443	1480	1517	4	8	11	15	18	23	26	30	34
0,4	1555	1591	1628	1664	1700	1736	1772	1808	1844	1879	4	7	11	14	18	22	25	29	32
0,5	1915	1950	1985	2019	2045	2083	2123	2157	2190	2224	3	7	10	14	17	21	24	27	31
0,6	2257	2291	2324	2357	2389	2422	2454	2486	2517	2549	3	6	10	13	16	19	23	26	29
0,7	2580	2611	2642	2673	2703	2734	2764	2794	2823	2852	3	6	9	12	15	18	21	24	27
0,8	2881	2910	2939	2967	2995	3023	3051	3078	3106	3133	3	6	8	11	14	17	19	22	25
0,9	3159	3186	3212	3238	3264	3289	3315	3340	3365	3389	3	5	8	10	13	15	18	20	23
1,0	3413	3438	3461	3485	3508	3531	3554	3577	3599	3621	2	5	7	9	11	14	16	18	21
1,1	3643	3665	3683	3708	3729	3749	3770	3790	3810	3830	2	4	6	8	10	12	14	16	19
1,2	3849	3869	3888	3907	3925	3944	3962	3980	3997	4015	2	4	5	7	9	11	13	15	16
1,3	4032	4049	4066	4082	4099	4115	4131	4147	4162	4177	2	3	5	6	8	10	11	13	14
1,4	4192	4207	4222	4236	4251	4265	4279	4292	4306	4319	1	3	4	6	7	8	10	11	13
1,5	4332	4345	4357	4370	4382	4394	4406	4418	4429	4441	1	2	4	5	6	7	8	10	11

Продолжение табл. 1

t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.6	4452	4463	4474	4484	4495	4505	4515	4525	4535	4545	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.7	4554	4564	4573	4582	4591	4599	4608	4616	4625	4633	1	2	3	3	4	5	6	7	8
1.8	4641	4649	4656	4664	4671	4678	4686	4693	4699	4706	1	1	2	3	4	4	5	6	6
1.9	4713	4719	4726	4732	4738	4744	4750	4756	4761	4767	1	1	2	2	3	4	4	5	5
2.0	4772	4778	4783	4788	4793	4798	4803	4808	4812	4817	0	1	1	2	2	3	3	4	4
2.1	4821	4826	4830	4834	4838	4842	4846	4850	4854	4857	Значения, помещенные выше, служат для нахождения $\Phi(t)$ по величине t с тремя десятичными знаками								
2.2	4861	4865	4868	4871	4875	4878	4881	4884	4887	4890									
2.3	4893	4896	4898	4901	4904	4906	4909	4911	4913	4916									
2.4	4918	4920	4922	4925	4927	4929	4931	4932	4934	4936	t	$\Phi(t)$		t	$\Phi(t)$				
2.5	4938	4940	4941	4943	4945	4946	4948	4949	4951	4952	3,60	841		3,79	925				
2.6	4953	4955	4956	4957	4959	4960	4961	4962	4963	4964	3,62	853		3,80	928				
2.7	4965	4966	4967	4968	4969	4970	4971	4972	4973	4974	3,64	864		3,83	936				
2.8	4974	4975	4976	4977	4977	4978	4979	4979	4980	4981	3,65	869		3,85	941				
2.9	4981	4982	4982	4983	4984	4984	4985	4985	4986	4986	3,67	879		3,87	946				
3.0	9865	9869	9874	9878	9882	9886	9889	9893	9896	9900	3,69	888		3,90	952				
3.1	9903	9906	9909	9912	9916	9918	9921	9924	9926	9929	3,70	892		3,95	961				
3.2	9931	9934	9936	9938	9940	9942	9944	9946	9948	9950	3,72	900		4,00	968				
3.3	9952	9954	9955	9957	9958	9960	9961	9962	9964	9965	3,74	908		4,25	989				
3.4	9966	9968	9969	9970	9971	9972	9973	9974	9975	9976	3,75	912		4,50	997				
3.5	7674	7759	7842	7922	7999	8074	8146	8215	8282	8347	3,77	918		5,00	9997				

Примечание. Значение 0 для $\Phi(t)$ опущено, а для $t = 3,0 \div 3,49$ опущено 0,4 (помещены десятичные значения, начиная со второго знака после запятой).

Пример. $t = 3,25$; $\Phi(t) = 0,49942$. Для $t \geq 3,50$ опущено 0,499.

ТАБЛИЦА 2
ЗНАЧЕНИЯ ФУНКЦИЙ НОРМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ $F(x)$, ПЛОТНОСТИ ВЕРОЯТНОСТИ $f(x)$
И ЕЕ ПЕРВЫХ ШЕСТИ ПРОИЗВОДНЫХ [10]

x	$F(x)$	$f(x)$	$f'(x)$	$f''(x)$	$f^{(3)}(x)$	$f^{(4)}(x)$	$f^{(5)}(x)$	$f^{(6)}(x)$	x
0,00	0,50000	0,39894	-0,00000	-0,39894	+0,00000	+1,19683	-0,00000	-5,98413	0,00
02	50798	39886	00798	39870	02393	19563	11963	97576	02
04	51595	39862	01594	39799	04781	19204	23892	95066	04
05	51934	39844	01992	39745	05072	18936	29834	93187	05
06	52392	39822	02389	39679	07159	18608	35754	90894	06
07	52790	39797	02786	39602	08344	18221	41650	88188	07
08	53188	39767	03181	39512	09524	17775	47517	85073	08
09	53586	39733	03576	39411	10699	17271	53350	81551	09
10	53983	39695	03970	39298	11869	16708	59146	77625	10
11	54380	39654	04362	39174	13033	16088	64901	73300	11
12	54776	39608	04753	39038	14190	15410	70611	68577	12
13	55172	39559	05143	38890	15341	14676	76272	63463	13
14	55567	39505	05531	38731	16484	13885	81879	57961	14
15	55962	39448	05917	38560	17018	13038	87429	52077	15
16	56356	39387	06302	38379	18744	12137	92919	45815	16
17	56749	39322	06685	38186	19861	11180	0,98345	39182	17
18	57142	39253	07066	37981	20988	10170	1,03702	32183	18
19	57535	39181	07444	37766	22064	09106	08987	24824	19
20	57926	39104	07821	37540	23150	07990	14197	17112	20
21	58317	39024	08195	37303	24224	06823	19328	09054	21
22	58706	38940	08567	37056	25286	05604	24377	5,00657	22
23	59095	38853	08936	36798	26336	04335	29340	4,91929	23
24	59483	38762	09303	36529	27373	03018	34214	82876	24
25	59871	38667	09667	36250	28396	01651	38997	73508	25
26	60257	38568	10028	35961	29405	1,00238	43684	63832	26
27	60642	38466	10386	35662	30401	0,98778	48272	53857	27
28	61026	38361	10741	35353	31381	0,97273	52760	43591	28
0,29	0,61409	0,38251	-0,11093	-0,35035	+0,32346	+0,95723	-1,57143	-4,33045	0,29

Продолжение табл. 2

x	$F(x)$	$f(x)$	$f'(x)$	$f''(x)$	$f^{(3)}(x)$	$f^{(4)}(x)$	$f^{(5)}(x)$	$f^{(6)}(x)$	x
0,30	0,61791	0,38139	-0,11442	-0,34706	+0,33295	+0,94130	-1,61420	-4,22226	0,30
31	62172	38023	11787	34369	34228	92495	65587	4,11144	31
32	62552	37903	12129	34022	35145	90819	69642	3,99809	32
33	62930	37780	12467	33666	36045	89103	73582	3,88332	33
34	63307	37654	12802	33301	36927	87348	77406	3,76421	34
35	63683	37524	13133	32927	37791	85555	81110	3,64387	35
36	64058	37391	13461	32545	38638	83726	84693	3,52140	36
37	64431	37255	13784	32155	39466	81862	88152	3,39892	37
38	64803	37115	14104	31756	40275	79963	91486	3,27052	38
39	65173	36973	14419	31349	41065	78032	94692	3,14231	39
40	65542	36827	14731	30935	41835	76070	1,97770	3,01221	40
41	65910	36678	15038	30513	42586	74077	2,00717	2,88093	41
42	66276	36526	15341	30083	43317	72056	0,3531	2,74797	42
43	66640	36371	15640	29646	44027	70007	0,6212	2,61365	43
44	67003	36213	15934	29203	44717	67932	0,8758	2,47807	44
45	67364	36053	16224	28752	45386	65832	1,1166	2,34137	45
46	67724	35889	16509	28295	46034	63709	1,3441	2,20364	46
47	68082	35723	16790	27831	46660	61564	1,5575	2,06500	47
48	68439	35553	17066	27362	47265	59398	1,7570	1,92558	48
49	68793	35381	17337	26886	47848	57213	1,9426	1,78947	49
50	69146	35207	17603	26405	48409	55010	2,1441	1,64481	50
51	69497	35029	17865	25918	48948	52791	2,2715	1,50369	51
52	69847	34849	18122	25426	49465	50556	2,4148	1,36225	52
53	70194	34667	18373	24929	49959	48308	2,5440	1,22058	53
54	70540	34482	18620	24427	50431	46048	2,6589	1,07882	54
55	70884	34294	18862	23920	50880	43777	2,7597	0,93706	55
56	71226	34105	19099	23409	51306	41497	2,8464	0,79543	56
57	71566	33912	19330	22894	51710	39208	2,9188	0,65404	57
58	71904	33718	19556	22375	52091	36913	2,9772	0,51299	58
0,59	0,72240	0,33521	-0,19778	-0,21853	+0,52448	+0,34613	-2,30214	-0,37240	0,59

Продолжение табл. 2

x	$F(x)$	$f(x)$	$x'(x)$	$f''(x)$	$f^{(3)}(x)$	$f^{(4)}(x)$	$f^{(5)}(x)$	$f^{(6)}(x)$	x
0,60	0,72575	0,33322	-0,19993	-0,21326	+0,52783	+0,32309	-2,30517	-0,23237	0,60
61	72907	33121	20204	20797	53094	30003	30679	-0,09302	61
62	73237	32918	20409	20265	53383	27696	30703	+0,04554	62
63	73565	32713	20609	19729	53648	25390	30589	18352	63
64	73891	32506	20804	19192	53891	23085	30337	31991	64
65	74215	32297	20993	18652	54110	20783	29949	45550	65
66	74537	32086	21177	18110	54306	18486	29426	58989	66
67	74857	31874	21355	17566	54480	16195	27299	72299	67
68	75175	31659	21528	17020	54630	13912	27981	85469	68
69	75490	31443	21696	16473	54758	11636	27061	0,98491	69
70	75804	31225	21858	15925	54863	09371	26012	1,11354	70
71	76115	31006	22014	15376	54945	07116	24834	24050	71
72	76424	30785	22165	14826	55005	04874	23531	36570	72
73	76730	30563	22311	14276	55043	02646	22104	48905	73
74	77035	30339	22451	13725	55058	+0,00433	20554	61046	74
75	77337	30114	22585	13175	55052	-0,01764	18883	72985	75
76	77637	29887	22714	12624	55023	03944	17095	84714	76
77	77935	29659	22838	12074	54973	06106	15190	1,96226	77
78	78230	29430	22956	11525	54901	08248	13171	2,07513	78
79	78524	29200	23068	10976	54808	10569	11040	18567	79
80	78814	28969	23175	10429	54694	12468	08800	29382	80
81	79103	28737	23277	09883	54559	14545	06454	39951	81
82	79389	28504	23373	09338	54403	16597	04002	50267	82
83	79673	28269	23464	08795	54227	18624	2,01449	60325	83
84	79955	28034	23549	08253	54031	20626	1,98797	70118	84
85	80234	27798	23629	07714	53814	22600	96048	79640	85
86	80511	27562	23703	07177	53579	24546	93205	83888	86
87	80785	27324	23772	06643	53324	26464	90271	2,97854	87
88	81057	27086	23836	06111	53049	28351	87249	3,06536	88
0,89	0,81327	0,26848	-0,23894	-0,05582	+0,52757	-0,30208	-1,84141	+3,14928	0,89

Продолжение табл. 2

x	$F(x)$	$f(x)$	$f'(x)$	$f''(x)$	$f^{(3)}(x)$	$f^{(4)}(x)$	$f^{(5)}(x)$	$f^{(6)}(x)$	x
0,90	0,81594	0,26609	-0,23948	-0,05056	+0,52445	-0,32034	-1,80951	+3,23026	0,90
91	81859	26369	23996	04533	52116	33827	77681	30826	91
92	82121	26129	24038	04013	51769	35587	74335	38326	92
93	82381	25888	24076	03497	51404	37314	70916	45520	93
94	82639	25647	24108	02985	51023	39005	57426	52408	94
95	82894	25406	24136	02477	50624	40668	63869	58985	95
96	83147	25164	24158	01973	50210	42283	60247	65251	96
97	83398	24923	24175	01473	49779	43867	56565	71202	97
98	83646	24681	24187	00977	49332	45414	52824	76837	98
99	83891	24439	24195	00486	48871	46923	49029	82154	99
1,00	84134	24197	24197	00000	48394	48394	45182	87153	1,00
01	84375	23955	24195	+0,00482	47903	49827	41287	91833	01
02	84614	23713	24187	00958	47398	51220	37347	3,96193	02
03	84850	23471	24176	01429	46879	52573	33364	4,00232	03
04	85083	23230	24159	01896	46346	53887	29343	03951	04
05	85314	22988	24138	02356	45801	55160	25286	07351	05
06	85543	22747	24112	02812	45243	56393	21197	10432	06
07	85769	22506	24081	03261	44673	57584	17079	13194	07
08	85993	22265	24047	03705	44092	58784	12934	15639	08
09	86214	22025	24007	04143	43499	59843	08767	17769	09
10	86433	21785	23964	04575	42895	60909	04580	19585	10
11	86650	21546	23916	05001	42281	61934	1,00377	21088	11
12	86864	21307	23864	05420	41657	62917	0,96159	22822	12
13	87076	21069	23807	05834	41023	63857	91932	23169	13
14	87286	20831	23747	06241	40380	64755	87697	23752	14
15	87493	20594	23683	06641	39728	65611	83458	24032	15
16	87698	20357	23614	07035	39067	66425	-79217	24015	16
17	87900	20121	23542	07423	38399	67196	74979	23702	17
18	88100	19886	23465	07803	37724	67924	70744	23099	18
1,19	0,88298	0,19652	-0,23386	+0,08177	+0,37041	-0,68610	-0,66518	+4,22308	1,19

Продолжение табл. 2

x	$F(x)$	$f(x)$	$f'(x)$	$f''(x)$	$f^{(3)}(x)$	$f^{(4)}(x)$	$f^{(5)}(x)$	$f^{(6)}(x)$	x
1,20	0,88493	0,19419	-0,23302	+0,08544	+0,36352	-0,69255	-0,62301	+4,21034	1,20
21	88686	19186	23215	08904	35656	69857	58098	19581	21
22	88877	18954	23124	09257	34955	70417	53910	17853	22
23	89065	18724	23030	09603	34248	70935	49742	15856	23
24	89251	18494	22932	09942	33536	71411	45594	13594	24
25	89435	18265	22831	10274	32820	71847	41471	11072	25
26	89617	18037	22727	10599	32099	72241	37374	08295	26
27	89796	17810	22619	10916	31375	72594	33306	05269	27
28	89973	17585	22508	11226	30648	72907	29269	4,02000	28
29	90147	17360	22395	11529	29917	73180	25266	3,98492	29
30	90320	17137	22278	11824	29184	73413	21300	94753	30
31	90490	16915	22158	12113	28449	73606	17372	90787	31
32	90658	16694	22036	12393	27712	73760	13485	86601	32
33	90824	16474	21910	12667	26974	73876	09641	82201	33
34	90988	16256	21782	12933	26235	73953	05842	77593	34
35	91149	16038	21652	13192	25495	73993	-0,02090	72785	35
36	91308	15822	21519	13443	24755	73955	+0,01613	67781	36
37	91466	15608	21383	13687	24015	73961	05265	62560	37
38	91621	15395	21245	13923	23276	73890	03865	57217	38
39	91774	15183	21104	14152	22537	73784	12409	51669	39
40	91924	14973	20962	14374	21800	73642	15897	45953	40
41	92073	14764	20817	14588	21065	73466	19328	40077	41
42	92220	14556	20670	14795	20331	73256	22698	34046	42
43	92364	14350	20521	14995	19600	73012	26008	27868	43
44	92507	14146	20370	15187	18871	72736	29255	21551	44
45	92647	13943	20217	15372	18145	72427	32439	15100	45
46	92786	13742	20063	15550	17423	72087	35557	08522	46
47	92922	13542	19905	15721	16704	71716	38609	3,01826	47
48	93056	13344	19748	15884	15988	71315	41593	2,95018	48
49	93189	13147	19589	16040	15277	70885	44509	88105	49

Продолжение табл. 2

x	$F(x)$	$f(x)$	$f'(x)$	$f''(x)$	$f^{(3)}(x)$	$f^{(4)}(x)$	$f^{(5)}(x)$	$f^{(6)}(x)$	x
1,50	0,93319	0,12952	-0,19428	+0,16190	+0,14571	-0,70425	+0,47355	+2,81094	1,50
51	93448	12758	19265	16332	13869	69937	50130	73392	51
52	93574	12566	19101	16467	13172	69423	52834	66806	52
53	93699	12376	18936	16595	12481	68881	55466	59543	53
54	93822	12188	18769	16717	11795	68314	58025	52210	54
55	93943	12001	18601	16831	11114	67721	60510	44814	55
56	94062	11816	18433	16939	10440	67104	62921	37362	56
57	94179	11632	18263	17040	9772	66463	65257	29860	57
58	94295	11450	18092	17134	90111	65799	67518	22316	58
59	94408	11270	17920	17222	82456	65113	69703	14735	59
60	94520	11092	17747	17304	07809	64405	71813	2,07125	60
61	94630	10915	17574	17379	07168	63677	73846	1,99492	61
62	94738	10741	17400	17447	06535	62928	75803	91842	62
63	94845	10567	17225	17509	05910	62161	77683	84182	63
64	94950	10396	17050	17565	05292	61375	79486	76518	64
65	95053	10226	16874	17615	04682	60571	81213	68856	65
66	95154	10059	16697	17659	04081	59751	82863	61202	66
67	95254	09893	16521	17697	03487	58914	84437	53562	67
68	95352	09728	16343	17729	02903	58063	85935	45942	68
69	95449	09566	16165	17755	02326	57202	87356	38348	69
70	95543	09405	15988	17775	01759	56316	88702	30785	70
71	95637	09246	15811	17790	01200	55422	89977	23259	71
72	95728	09089	15633	17799	00650	54516	91167	15775	72
73	95818	08933	15455	17803	+0,00110	53599	92288	08338	73
74	95907	08780	15277	17802	-0,00422	52671	93334	1,00954	74
75	95994	08628	15099	17795	00944	51733	94307	0,93626	75
76	96080	08478	14921	17783	01456	50785	95207	86362	76
77	96164	08329	14743	17766	01959	49829	96034	79163	77
78	96246	08183	14565	17744	02453	48865	96790	72036	78
79	96327	08038	14388	17717	02937	47893	97475	64985	79
80	96407	07895	14211	17685	03411	46915	98090	58014	80
81	96485	07754	14034	17648	03875	45932	98636	51127	81
82	96562	07614	13858	17607	04329	44943	99113	44329	82
83	96638	07477	13682	17562	04774	43950	99523	37622	83
1,84	0,96712	0,07341	-0,13507	+0,17512	-0,05208	-0,42953	+0,99866	+0,31010	1,84

Продолжение табл. 2

x	$F(x)$	$f(x)$	$f'(x)$	$f''(x)$	$f^{(3)}(x)$	$f^{(4)}(x)$	$f^{(5)}(x)$	$f^{(6)}(x)$	x
1,85	0,96784	0,07206	-0,13332	+0,17458	-0,05633	-0,41953	+1,00143	+0,24498	1,85
86	96836	07074	13158	17399	06047	40950	00356	18088	86
87	96926	06943	12984	17337	06346	39946	00505	11783	87
88	96995	06814	12811	17270	06846	38940	00592	+0,05587	88
89	97062	06687	12639	17200	07231	37934	00617	-0,00497	89
90	97128	06562	12467	17126	07605	36928	00583	06467	90
91	97193	06438	12296	17048	07969	35923	00489	12320	91
92	97257	06316	12126	16966	08323	34918	00337	18054	92
93	97320	06195	11957	16881	08667	33916	1,00128	23667	93
94	97381	06077	11788	16793	09002	32916	0,99864	29156	94
95	97441	05959	11621	16701	09326	31919	99545	34519	95
96	97500	05844	11424	16607	09640	30925	99174	39754	96
97	97558	05730	11289	16509	09944	29936	98750	44861	97
98	97615	05618	11124	16408	10289	28950	98277	49836	98
99	97670	05508	10961	16304	10523	27970	97754	54680	99
2,00	97725	05399	10798	16197	10798	26996	97184	2,59390	2,00
01	97778	05292	10637	16088	11063	26027	96567	63966	01
02	97831	05186	10476	15976	11319	25064	95905	68406	02
03	97882	05082	10317	15862	11565	24109	95199	72711	03
04	97932	04980	10159	15745	11801	23160	94451	76878	04
05	97982	04879	10002	15626	12028	22220	93662	80908	05
06	98030	04780	99847	15504	12245	21287	92833	84800	06
07	98077	04682	99692	15381	12454	20363	91966	88554	07
08	98124	04585	99539	15255	12653	19448	91063	92170	08
09	98169	04491	99387	15128	12844	18542	90124	95647	09
10	98214	04398	99237	14998	13024	17646	89150	0,98987	10
11	98257	04307	99087	14867	13196	16759	88144	1,02188	11
12	98300	04217	98939	14735	13359	15883	87107	05252	12
13	98341	04128	98793	14600	13513	15017	86040	08178	13
2,14	0,98382	0,04041	-0,08647	+0,14464	-0,13659	-0,14162	+0,84944	-1,10969	2,14

Продолжение табл. 2

x	$F(x)$	$\bar{f}(x)$	$f'(x)$	$f''(x)$	$f^{(3)}(x)$	$f^{(4)}(x)$	$f^{(5)}(x)$	$f^{(6)}(x)$	x
2,15	0,98422	0,03955	-0,08503	+0,14327	-0,13797	-0,13318	+0,83821	-1,13622	2,15
16	98461	03871	08361	14188	13926	12486	82672	16142	16
17	98500	03871	08220	14049	13926	12486	81499	16142	17
18	98537	03706	08080	13907	14159	10856	80302	20778	18
19	98574	03626	07941	13765	14263	10089	79083	22897	19
20	98610	03547	07804	13622	14360	09274	77844	24885	20
21	98645	03470	07669	13478	14449	08502	76516	26744	21
22	98679	03394	07535	13333	14530	07743	75310	28474	22
23	98713	03319	07402	13188	14604	06996	74017	30077	23
24	98745	03246	07271	13041	14670	06263	72709	31555	24
25	98778	03174	07141	12894	14729	05542	71386	32909	25
26	98809	03103	07013	12747	14781	04835	70051	34441	26
27	98840	03034	06886	12599	14826	04141	68704	35253	27
28	98870	02965	06761	12450	14864	03461	67346	36246	28
29	98899	02898	06638	12301	14895	02794	65979	37122	29
30	98928	02833	06515	12152	14920	02141	64604	37883	30
31	98956	02768	06394	12003	14938	01502	63222	38533	31
32	98983	02705	06275	11854	14950	00877	61834	39071	32
33	99010	02643	06157	11704	14956	-0,00265	60441	39500	33
34	99036	02582	06041	11554	14955	+0,00332	59044	39824	34
35	99061	02522	05926	11405	14949	00915	57645	40043	35
36	99086	02463	05813	11256	14937	01485	56244	40160	36
37	99111	02406	05701	11106	14919	02040	54842	40177	37
38	99134	02349	05591	10957	14896	02582	53424	40097	38
39	99158	02294	05482	10808	14868	03109	52041	39923	39
40	99180	02239	05375	10660	14834	03623	50642	39654	40
41	99202	02186	05269	10512	14795	04122	49248	39297	41
42	99224	02134	05164	10364	14752	04608	47857	38851	42
43	99245	02083	05062	10217	14703	05079	46471	38320	43
2,44	0,99266	0,02033	-0,04960	+0,10070	-0,14650	+0,05537	+0,45091	-1,37706	2,44

Продолжение табл. 2

x	$F(x)$	$f(x)$	$f'(x)$	$f''(x)$	$f^{(3)}(x)$	$f^{(4)}(x)$	$f^{(5)}(x)$	$f^{(6)}(x)$	x
2,45	0,99286	0,01984	-0,04860	+0,09924	-0,14593	+0,05981	+0,43717	-0,37012	2,45
46	99305	01936	04762	03778	14531	06411	42351	36239	46
47	99324	01888	04665	03633	14464	06828	40993	35392	47
48	99343	01842	04569	03489	14394	07231	39643	34471	48
49	99361	01797	04475	03345	14320	07621	38303	33480	49
50	99379	01753	04382	03202	14242	07997	36974	32421	50
51	99396	01709	04291	03060	14160	08360	35655	31297	51
52	99413	01667	04201	02919	14075	08710	34348	30109	52
53	99430	01625	04112	02779	13986	09047	33053	28862	53
54	99446	01585	04025	02639	13894	09372	31771	27556	54
55	99461	01545	03940	02501	13798	09683	30502	26195	55
56	99477	01506	03855	02364	13700	09982	29247	24781	56
57	99492	01468	03772	02227	13599	10268	28007	23316	57
58	99506	01431	03691	02092	13495	10542	26781	21804	58
59	99520	01394	03610	01957	13388	10804	25571	20247	59
60	99534	01358	03532	01824	13279	11053	24376	18645	60
61	99547	01323	03454	01692	13167	11291	23198	17003	61
62	99560	01289	03378	01560	13053	11517	22036	15322	62
63	99573	01256	03303	01430	12937	11732	20892	13605	63
64	99585	01223	03229	01302	12818	11935	19764	11854	64
65	99598	01191	03157	01174	12698	12127	18655	10071	65
66	99609	01160	03086	01048	12576	12308	17563	08259	66
67	99621	01130	03016	00923	12452	12479	16490	06421	67
68	99632	01100	02947	00799	12326	12638	15435	04556	68
69	99643	01071	02880	00676	12199	12787	14399	02669	69
70	99653	01042	02814	00555	12071	12926	13381	1-00761	70
71	99664	01014	02749	00435	11941	13055	12383	0,98834	71
72	99674	00987	02685	00316	11810	13174	11405	96891	72
73	99683	00961	02622	00199	11677	13283	10446	94933	73
2,74	0,99693	0,00935	-0,02561	+0,06082	-0,11544	+0,13383	+0,09506	-0,92962	2,74

Продолжение табл. 2

x	$F(x)$	$f(x)$	$f'(x)$	$f''(x)$	$f^{(3)}(x)$	$f^{(4)}(x)$	$f^{(5)}(x)$	$f^{(6)}(x)$	x
2,75	0,99702	0,00909	-0,02501	+0,05968	-0,11410	+0,13473	+0,08586	-0,90980	2,75
76	99711	00885	02442	05854	11274	13555	07687	88989	76
77	99720	00861	02384	05742	11139	13627	06807	86991	77
78	99728	00837	02327	05631	11002	13691	05947	84987	78
79	99736	00814	02271	05522	10865	13746	05107	82980	79
80	99744	00792	02216	05414	10727	13793	04287	80970	80
81	99752	00770	02163	05308	10589	13832	03488	78960	81
82	99760	00748	02110	05202	10450	13863	02708	76952	82
83	99767	00727	02059	05099	10312	13886	01949	74946	83
84	99774	00707	02008	04996	10173	13902	01209	72944	84
85	99781	00687	01959	04895	10034	13910	+0,00490	70948	85
86	99788	00668	01910	04795	09895	13912	-0,00210	68959	86
87	99795	00649	01863	04697	09755	13905	00890	66979	87
88	99801	00631	01816	04600	09616	13894	01549	65008	88
89	99807	00613	01771	04505	09478	13875	02190	63049	89
90	99813	00595	01726	04411	09339	13850	02810	61102	90
91	99819	00678	01683	04318	09201	13819	03412	59168	91
92	99825	00562	01640	04227	09063	13782	03994	57249	92
93	99831	00545	01598	04137	08925	13739	04557	55346	93
94	99836	00530	01557	04048	08788	13691	05101	53459	94
95	99841	00514	01517	03961	08651	13638	05626	51591	95
96	99846	00499	01478	03875	08515	13579	06133	49741	96
97	99851	00485	01440	03791	08330	13515	06621	47910	97
98	99856	00470	01402	03708	08145	13446	07091	46101	98
99	99861	00457	01365	03626	08111	13373	07543	44312	99
3,00	99865	00443	01330	03545	07977	13296	07977	42526	00
01	99869	00430	01294	03466	07845	13214	08394	40802	01
02	99874	00417	01260	03389	07713	13128	08793	39082	02
03	99878	00405	01227	03312	07582	13038	09176	37387	03
3,04	0,99882	0,00393	-0,01194	+0,03237	-0,07452	+0,12944	-0,09541	-0,35716	3,04

Продолжение табл. 2

x	$F(x)$	$f(x)$	$f'(x)$	$f''(x)$	$f^{(3)}(x)$	$f^{(4)}(x)$	$f^{(5)}(x)$	$f^{(6)}(x)$	x
3,05	0,99886	0,00381	-0,01162	+0,03163	-0,07323	+0,12847	-0,03890	-0,34070	3,05
06	99889	00370	01131	03090	07195	12747	10223	32451	06
07	99893	00358	01100	03019	07068	12643	10539	30858	07
08	99896	00348	01070	02949	06943	12538	10840	29292	08
09	99900	00337	01041	02880	06818	12426	11125	27753	09
10	99903	00327	01013	02813	06694	12313	11395	26242	10
11	99906	00317	00985	02746	06571	12198	11650	24759	11
12	99910	00307	00958	02681	06450	12080	11890	23304	12
13	99913	00298	00931	02617	06330	11960	12116	21878	13
14	99916	00288	00905	02555	06211	11838	12328	20480	14
15	99918	00279	00880	02493	06093	11714	12526	19112	15
16	99921	00271	00856	02433	05977	11588	12710	17773	16
17	99924	00262	00832	02374	05861	11460	12882	16464	17
18	99926	00254	00808	02316	05747	11330	13040	15184	18
19	99929	00246	00785	02259	05635	11199	13185	13933	19
20	99931	00238	00763	02203	05523	11066	13319	12712	20
21	99934	00231	00741	02148	05413	10933	13440	11591	21
22	99936	00224	00720	02095	05305	10798	13549	10360	22
23	99938	00216	00699	02042	05198	10662	13647	09228	23
24	99940	00210	00679	01991	05092	10525	13734	08126	24
25	99942	00203	00659	01940	04987	10387	13810	07054	25
26	99944	00196	00640	01891	04884	10249	13875	06011	26
27	99946	00190	00622	01843	04782	10110	13930	04997	27
28	99948	00184	00603	01795	04682	09970	13975	04012	28
29	99950	00178	00586	01749	04583	09830	14010	03056	29
30	99952	00172	00568	01704	04485	09690	14036	02130	30
31	99953	00167	00552	01659	04389	09549	14053	01232	31
32	99955	00161	00535	01616	04294	09409	14061	-0,00362	32
33	99957	00156	00519	01573	04201	09268	14060	+0,00480	33
3,34	0,99958	0,00151	-0,00504	+0,01532	-0,04109	+0,09128	-0,14051	+0,01294	3,34

Продолжение табл. 2

x	$F(x)$	$f(x)$	$f^2(x)$	$f''(x)$	$f^{(3)}(x)$	$f^{(4)}(x)$	$f^{(5)}(x)$	$f^{(6)}(x)$	x
3,35	0,99960	0,00146	-0,00489	+0,01491	-0,04018	+0,08987	-0,14034	+0,02080	3,35
36	99961	00141	00474	01451	03929	08847	14010	02839	36
37	99962	00136	00460	01413	03841	08707	13978	03570	37
38	99964	00132	00446	01375	03755	08567	13939	04275	38
39	99965	00127	00432	01338	03670	08428	13892	04954	39
40	99966	00123	00419	01301	03586	08290	13840	05607	40
41	99968	00119	00406	01266	03504	08151	13780	06234	41
42	99969	00115	00394	01231	03423	08014	13715	06835	42
43	99970	00111	00381	01197	03344	07877	13644	07412	43
44	99971	00107	00370	01164	03266	07741	13567	07964	44
45	99972	00104	00358	01132	03189	07606	13485	08492	45
46	99973	00100	00347	01100	03114	07471	13397	08997	46
47	99974	00097	00336	01070	03040	07338	13305	09477	47
48	99975	00094	00326	01040	02967	07205	13208	09935	48
49	99976	00090	00315	01010	02895	07074	13106	10371	49
50	99977	00087	00305	00982	02825	06943	13000	10784	50
51	99978	00084	00296	00954	02757	06814	12890	11176	51
52	99978	00081	00286	00927	02689	06685	12777	11547	52
53	99979	00079	00277	00900	02623	06558	12660	11897	53
54	99980	00076	00268	00874	02558	06432	12539	12226	54
55	99981	00073	00260	00849	02494	06308	12415	12536	55
56	99981	00071	00251	00824	02432	06184	12288	12826	56
57	99982	00068	00243	00800	02370	06062	12159	13097	57
58	99983	00066	00235	00777	02310	05941	12026	13350	58
59	99983	00063	00228	00754	02252	05821	11892	13585	59
60	99984	00061	00220	00732	02194	05703	11755	13802	60
61	99985	00059	00213	00710	02138	05586	11616	14002	61
62	99985	00057	00206	00689	02082	05471	11475	14185	62
63	99986	00055	00199	00669	02028	05357	11332	14352	63
3,64	0,99986	0,00053	-0,00193	+0,00649	-0,01975	+0,05244	-0,11188	+0,14503	3,64

Продолжение табл. 2

x	$F(x)$	$f(x)$	$f'(x)$	$f''(x)$	$f^{(3)}(x)$	$f^{(4)}(x)$	$f^{(5)}(x)$	$f^{(6)}(x)$	x
3,65	0,99987	0,00051	-0,00186	+0,00629	-0,01923	+0,05133	-0,11042	+0,14639	3,65
66	99987	00049	00180	00610	01873	05023	10895	14760	66
67	99988	00047	00174	00592	01823	04915	10747	14866	67
68	99988	00046	00168	00574	01774	04808	10598	14868	68
69	99989	00044	00163	00556	01727	04703	10448	15037	69
70	99989	00042	00157	00539	01680	04599	10297	15102	70
71	99990	00041	00152	00522	01635	04497	10146	15155	71
72	99990	00039	00147	00506	01590	04396	09994	15196	72
73	99990	00038	00142	00491	01547	04297	08842	15224	73
74	99991	00037	00137	00475	01504	04200	09690	15241	74
75	99991	00035	00132	00461	01463	04103	09537	15247	75
76	99992	00034	00128	00446	01422	04009	09385	15242	76
77	99992	00033	00123	00432	01383	03916	09232	15227	77
78	99992	00031	00119	00418	01344	03824	09080	15202	78
79	99992	00030	00115	00405	01306	03734	08928	15167	79
80	99993	00029	00111	00392	01269	03646	08777	15124	80
81	99993	00028	00107	00380	01233	03559	08626	15071	81
82	99993	00027	00103	00368	01198	03473	08475	15011	82
83	99994	00026	00100	00356	01164	03389	08326	14942	83
84	99994	00025	00096	00344	01130	03307	08177	14865	84
85	99994	00024	00093	00333	01098	03226	08028	14781	85
86	99994	00023	00090	00322	01066	03146	07881	14691	86
87	99995	00022	00086	00312	01035	03068	07735	14593	87
88	99995	00021	00083	00302	01004	02991	07589	14489	88
89	99995	00021	00080	00292	00975	02916	07445	14380	89
90	99995	00020	00077	00282	00946	02842	07302	14264	90
91	99995	00019	00075	00273	00918	02770	07160	14143	91
92	99996	00018	00072	00264	00891	02699	07019	14017	92
93	99996	00018	00069	00255	00864	02630	06879	13887	93
94	99996	00017	00067	00247	00838	02562	06741	13751	94
95	99996	00016	00064	00238	00813	02495	06604	13612	95
96	99996	00016	00062	00230	00788	02430	06469	13469	96
97	99996	00015	00060	00223	00764	02366	06335	13322	97
98	99997	00014	00058	00215	00741	02303	06202	13171	98
99	99997	00014	00056	00208	00718	02242	06071	13018	99
4,00	0,99997	0,00013	-0,00054	+0,00201	-0,00696	+0,02181	-0,05942	+0,12861	4,00

*

ТАБЛИЦА 3

ФУНКЦИЯ $F(t)$ ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСВЕЛЛА, ВЫРАЖЕННАЯ ЧЕРЕЗ σ_R^2 : $t = \frac{R}{\sigma_R}$

t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,00000	0,00002	0,00009	0,00019	0,00034	0,00054	0,00077	0,00105	0,00138	0,00174
0,1	0,00215	0,00950	0,00310	0,00362	0,00420	0,00483	0,00548	0,00619	0,00695	0,00773
0,2	0,00566	0,00944	0,01036	0,01131	0,01231	0,01335	0,01442	0,01555	0,01672	0,01792
0,3	0,01916	0,02095	0,02178	0,02349	0,02454	0,02599	0,02747	0,02900	0,03057	0,03217
0,4	0,03381	0,03549	0,03722	0,03897	0,04077	0,04261	0,04447	0,04638	0,04833	0,05031
0,5	0,05233	0,05438	0,05648	0,05861	0,06077	0,06291	0,06519	0,06747	0,06978	0,07211
0,6	0,07448	0,07688	0,07933	0,08179	0,08429	0,08623	0,08940	0,09200	0,09464	0,09729
0,7	0,09999	0,10271	0,10547	0,10825	0,11106	0,11392	0,11678	0,11968	0,12261	0,12557
0,8	0,12855	0,13156	0,13461	0,13766	0,14075	0,14387	0,14701	0,15018	0,15337	0,15659
0,9	0,15983	0,16309	0,16638	0,16969	0,17302	0,17637	0,17974	0,18314	0,18657	0,19000
1,0	0,19346	0,19694	0,20044	0,20395	0,20748	0,21104	0,21460	0,21820	0,22181	0,22542
1,1	0,22907	0,23271	0,23639	0,24007	0,24377	0,24749	0,25121	0,25495	0,25871	0,26248
1,2	0,26626	0,27005	0,27386	0,27766	0,28149	0,28534	0,28917	0,29303	0,29690	0,30078
1,3	0,30465	0,30854	0,31245	0,31635	0,32026	0,32419	0,32811	0,33205	0,33599	0,33992
1,4	0,34387	0,34783	0,35178	0,35574	0,35970	0,36368	0,36763	0,37161	0,37558	0,37956
1,5	0,38353	0,38751	0,39149	0,39546	0,39943	0,40342	0,40793	0,41137	0,41584	0,41931
1,6	0,42328	0,42724	0,43121	0,43517	0,43913	0,44308	0,44703	0,45098	0,45492	0,45886
1,7	0,46278	0,46671	0,47062	0,47453	0,47844	0,48234	0,48623	0,49011	0,49400	0,49786
1,8	0,50172	0,50558	0,50942	0,51325	0,51708	0,52089	0,52470	0,52850	0,53228	0,53606
1,9	0,53983	0,54358	0,54732	0,55105	0,55479	0,55849	0,56217	0,56586	0,56953	0,57319
2,0	0,57684	0,58047	0,58409	0,58770	0,59128	0,59487	0,59843	0,60198	0,60552	0,60903
2,1	0,61254	0,61604	0,61951	0,62297	0,62642	0,62985	0,63326	0,63666	0,64005	0,64341
2,2	0,64676	0,65009	0,65341	0,65671	0,65999	0,66326	0,66650	0,66974	0,67296	0,67615
2,3	0,67933	0,68249	0,68564	0,68877	0,69188	0,69497	0,69804	0,70110	0,70413	0,70715
2,4	0,71016	0,71313	0,71610	0,71904	0,72197	0,72488	0,72776	0,73064	0,73349	0,73632
2,5	0,73913	0,74193	0,74470	0,74746	0,75020	0,75292	0,75561	0,75830	0,76096	0,76361
2,6	0,76623	0,76883	0,77142	0,77398	0,77653	0,77905	0,78156	0,78405	0,78652	0,78897
2,7	0,79140	0,79382	0,79621	0,79858	0,80094	0,80328	0,80559	0,80789	0,81017	0,81242
2,8	0,81457	0,81689	0,81909	0,82127	0,82344	0,82559	0,82771	0,82983	0,83192	0,83399
2,9	0,83604	0,83806	0,84010	0,84209	0,84407	0,84604	0,84798	0,84991	0,85181	0,85370
3,0	0,85558	0,85743	0,85927	0,86108	0,86289	0,86467	0,86644	0,86818	0,86992	0,87163

ТАБЛИЦА 4
ЗНАЧЕНИЯ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ $F(x)$ МОДУЛЯ НОРМАЛЬНОГО ЗАКОНА УПРОЩЕННОГО
(РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НЕКРУГЛОСТИ)

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	γ
0,0	0,0000	0,0048	0,0095	0,0144	0,0193	0,0240	0,0290	0,0338	0,0384	0,0432	0,0
0,1	0,0478	0,0528	0,0576	0,0624	0,0671	0,0718	0,0769	0,0815	0,0865	0,0913	0,1
0,2	0,0959	0,1008	0,1054	0,1102	0,1151	0,1196	0,1245	0,1293	0,1341	0,1388	0,2
0,3	0,1434	0,1482	0,1528	0,1576	0,1625	0,1671	0,1719	0,1765	0,1813	0,1858	0,3
0,4	0,1904	0,1952	0,1997	0,2043	0,2090	0,2137	0,2185	0,2230	0,2278	0,2321	0,4
0,5	0,2368	0,2413	0,2459	0,2504	0,2550	0,2596	0,2642	0,2687	0,2732	0,2777	0,5
0,6	0,2823	0,2867	0,2911	0,2956	0,3001	0,3054	0,3092	0,3136	0,3180	0,3224	0,6
0,7	0,3268	0,3312	0,3355	0,3398	0,3442	0,3485	0,3529	0,3572	0,3615	0,3655	0,7
0,8	0,3701	0,3744	0,3787	0,3830	0,3873	0,3915	0,3957	0,3998	0,4038	0,4070	0,8
0,9	0,4109	0,4160	0,4206	0,4248	0,4289	0,4329	0,4369	0,4409	0,4450	0,4490	0,9
1,0	0,4530	0,4571	0,4611	0,4651	0,4691	0,4730	0,4769	0,4808	0,4848	0,4886	1,0
1,1	0,4925	0,4964	0,5001	0,5039	0,5077	0,5115	0,5153	0,5190	0,5227	0,5265	1,1
1,2	0,5302	0,5339	0,5376	0,5412	0,5449	0,5486	0,5522	0,5558	0,5594	0,5629	1,2
1,3	0,5664	0,5699	0,5734	0,5769	0,5803	0,5839	0,5874	0,5908	0,5941	0,5975	1,3
1,4	0,6008	0,6041	0,6076	0,6110	0,6142	0,6175	0,6207	0,6242	0,6274	0,6305	1,4
1,5	0,6338	0,6370	0,6401	0,6433	0,6464	0,6495	0,6527	0,6556	0,6587	0,6618	1,5
1,6	0,6649	0,6680	0,6710	0,6739	0,6768	0,6797	0,6828	0,6856	0,6885	0,6913	1,6
1,7	0,6942	0,6971	0,6998	0,7024	0,7054	0,7082	0,7109	0,7137	0,7164	0,7191	1,7
1,8	0,7217	0,7244	0,7270	0,7296	0,7323	0,7349	0,7376	0,7399	0,7427	0,7454	1,8
1,9	0,7476	0,7501	0,7527	0,7551	0,7575	0,7599	0,7623	0,7647	0,7671	0,7696	1,9
2,0	0,7717	0,7741	0,7764	0,7787	0,7810	0,7832	0,7854	0,7877	0,7899	0,7921	2,0
2,1	0,7942	0,7964	0,7984	0,8005	0,8027	0,8048	0,8068	0,8088	0,8109	0,8130	2,1
2,2	0,8149	0,8170	0,8189	0,8208	0,8227	0,8247	0,8267	0,8286	0,8304	0,8323	2,2
2,3	0,8341	0,8359	0,8377	0,8395	0,8413	0,8431	0,8449	0,8467	0,8482	0,8499	2,3
2,4	0,8519	0,8535	0,8552	0,8569	0,8583	0,8599	0,8617	0,8632	0,8648	0,8664	2,4
2,5	0,8679	0,8695	0,8710	0,8725	0,8740	0,8755	0,8769	0,8784	0,8798	0,8813	2,5
2,6	0,8827	0,8841	0,8854	0,8868	0,8883	0,8896	0,8910	0,8924	0,8938	0,8949	2,6
2,7	0,8961	0,8974	0,8987	0,8999	0,9011	0,9023	0,9035	0,9047	0,9059	0,9071	2,7
2,8	0,9083	0,9095	0,9106	0,9118	0,9129	0,9140	0,9151	0,9162	0,9173	0,9184	2,8
2,9	0,9193	0,9203	0,9214	0,9224	0,9234	0,9245	0,9255	0,9265	0,9274	0,9284	2,9

[illegible]

ТАБЛИЦА 5
ЗНАЧЕНИЯ i_0 ПРИ ДАННОМ ЧИСЛЕ СТЕПЕНЕЙ СВОБОДЫ К И ВЕРОЯТНОСТИ Р

К	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,001
1													
2	0,158	0,325	0,510	0,727	1,000	1,376	1,963	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657	636,619
3	0,142	0,289	0,445	0,617	0,816	1,061	1,386	1,886	2,990	4,303	6,965	9,925	31,598
4	0,137	0,277	0,424	0,584	0,765	0,978	1,250	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	12,941
5	0,134	0,271	0,414	0,569	0,741	0,941	1,190	1,553	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610
6	0,132	0,267	0,408	0,559	0,727	0,906	1,156	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	6,859
7	0,130	0,263	0,404	0,553	0,718	0,895	1,134	1,445	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959
8	0,130	0,263	0,402	0,549	0,711	0,889	1,119	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	5,405
9	0,129	0,262	0,399	0,546	0,706	0,889	1,108	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	5,041
10	0,129	0,261	0,398	0,543	0,703	0,883	1,100	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781
11	0,129	0,260	0,397	0,542	0,700	0,879	1,093	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,587
12	0,128	0,259	0,396	0,540	0,697	0,876	1,088	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,437
13	0,128	0,259	0,395	0,539	0,695	0,873	1,083	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	4,318
14	0,128	0,259	0,394	0,538	0,694	0,870	1,079	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221
15	0,128	0,258	0,393	0,537	0,692	0,868	1,076	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	4,140
16	0,128	0,258	0,393	0,536	0,691	0,865	1,074	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073
17	0,128	0,258	0,392	0,535	0,690	0,865	1,071	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	4,015
18	0,128	0,257	0,392	0,534	0,689	0,863	1,069	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965
19	0,127	0,257	0,391	0,533	0,688	0,862	1,067	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,922
20	0,127	0,257	0,391	0,533	0,688	0,861	1,066	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,883
21	0,127	0,257	0,391	0,533	0,687	0,860	1,064	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,850
22	0,127	0,256	0,391	0,532	0,686	0,859	1,063	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,819
23	0,127	0,256	0,390	0,532	0,686	0,858	1,061	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,792
24	0,127	0,256	0,390	0,532	0,685	0,858	1,060	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,767
25	0,127	0,256	0,390	0,531	0,685	0,857	1,059	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,745
26	0,127	0,256	0,390	0,531	0,684	0,856	1,058	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,725
27	0,127	0,256	0,390	0,531	0,684	0,856	1,058	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,707
28	0,127	0,256	0,389	0,531	0,684	0,855	1,057	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,690
29	0,127	0,256	0,389	0,530	0,683	0,855	1,056	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,674
30	0,127	0,256	0,389	0,530	0,683	0,854	1,055	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,659
40	0,126	0,255	0,388	0,529	0,681	0,851	1,050	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,646
60	0,126	0,254	0,387	0,527	0,679	0,848	1,046	1,296	1,684	2,021	2,423	2,704	3,551
120	0,126	0,254	0,386	0,526	0,677	0,845	1,041	1,289	1,671	2,000	2,390	2,660	3,460
∞	0,126	0,253	0,385	0,524	0,674	0,842	1,036	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	3,291

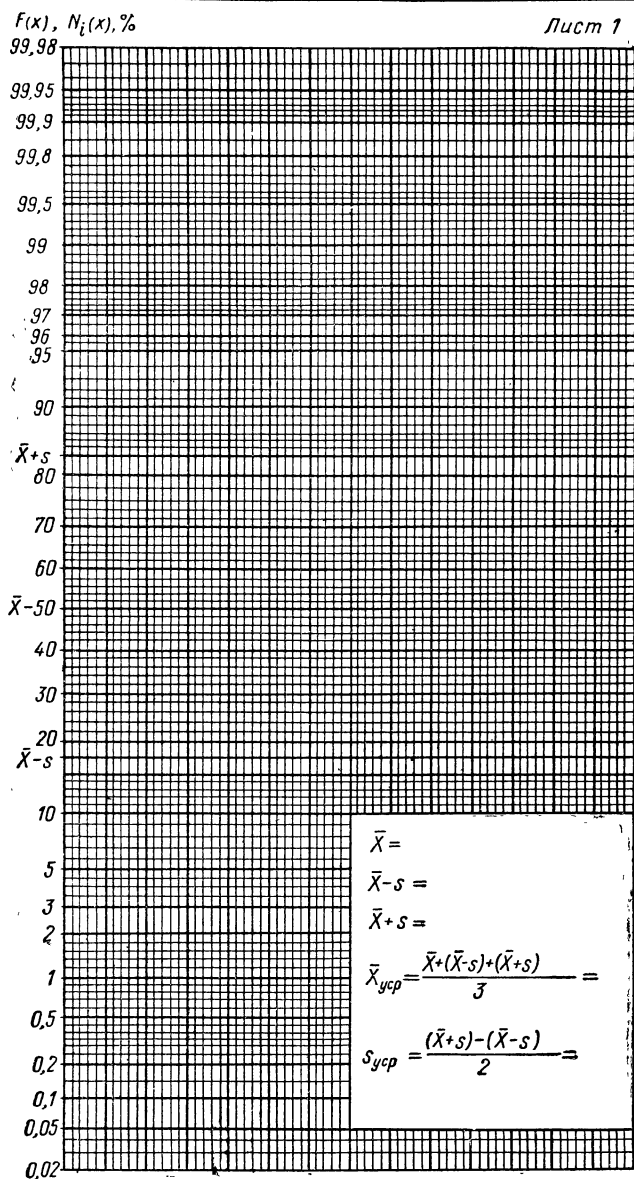
ТАБЛИЦА 6
 НАИБОЛЬШИЕ СЛУЧАЙНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ
 КОЭФФИЦИЕНТА КОРРЕЛЯЦИИ r_0

Число степеней свободы K	P				Число степеней свободы K	P			
	0,05	0,01	0,0027	0,001		0,05	0,01	0,0027	0,001
5	0,75	0,87	0,93	0,95	90	0,21	0,26	0,31	0,34
10	0,58	0,71	0,78	0,82	100	0,19	0,25	0,29	0,32
15	0,48	0,61	0,68	0,72	120	0,18	0,23	0,27	0,30
20	0,42	0,53	0,61	0,65	150	0,16	0,21	0,24	0,26
25	0,38	0,49	0,55	0,60	200	0,14	0,18	0,21	0,23
30	0,35	0,45	0,51	0,55	300	0,11	0,15	0,17	0,19
35	0,32	0,42	0,48	0,52	400	0,10	0,13	0,15	0,16
40	0,30	0,39	0,45	0,49	500	0,09	0,11	0,13	0,15
50	0,27	0,35	0,41	0,44	700	0,07	0,10	0,11	0,12
60	0,25	0,33	0,37	0,41	900	0,06	0,09	0,10	0,11
70	0,23	0,30	0,35	0,38	и более				
80	0,22	0,28	0,33	0,36					

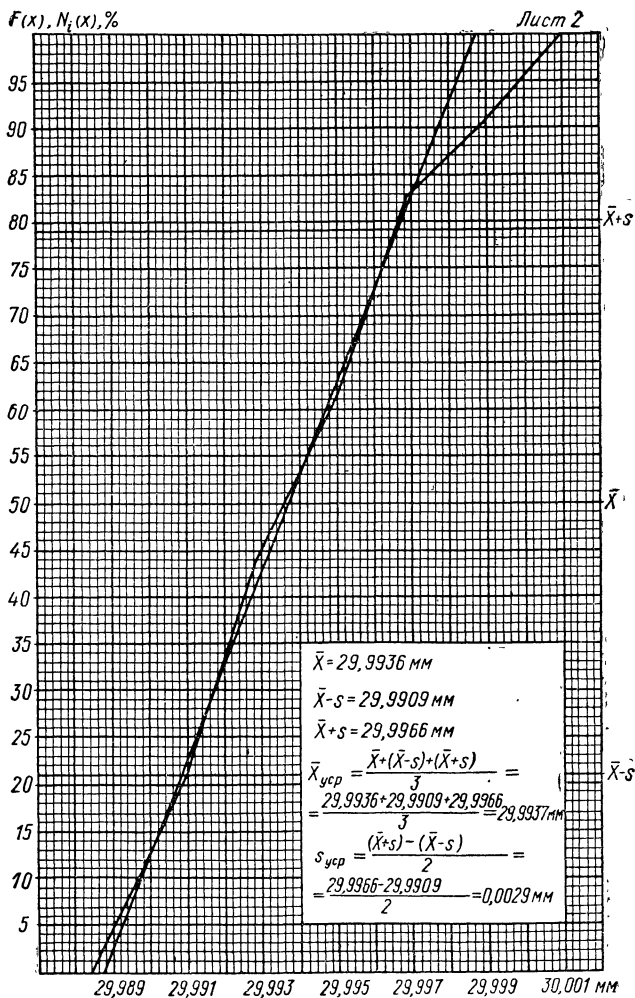
ТАБЛИЦА 7
 КРИТЕРИЙ ДЛЯ ИСКЛЮЧЕНИЯ РЕЗКО ВЫДЕЛЯЮЩИХСЯ
 ЗНАЧЕНИЙ v_p В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ОБЪЕМА ВЫБОРКИ (n) И
 ВЕРОЯТНОСТИ (P)

n	P			n	P		
	0,1	0,05	0,01		0,1	0,05	0,01
5	1,79	1,87	1,96	29	2,60	2,78	3,14
6	1,89	2,00	2,13	30	2,61	2,79	3,16
7	1,97	2,09	2,26	31	2,62	2,80	3,17
8	2,04	2,17	2,37	32	2,63	2,82	3,18
9	2,10	2,24	2,46	33	2,65	2,83	3,20
10	2,15	2,29	2,54	34	2,66	2,84	3,21
11	2,19	2,34	2,61	35	2,67	2,85	3,22
12	2,23	2,39	2,66	36	2,68	2,86	3,24
13	2,26	2,43	2,71	37	2,69	2,87	3,25
14	2,30	2,46	2,76	38	2,70	2,88	3,26
15	2,33	2,49	2,80	39	2,71	2,89	3,27
16	2,35	2,52	2,84	40	2,72	2,90	3,28
17	2,38	2,55	2,87	41	2,73	2,91	3,29
18	2,40	2,58	2,90	42	2,74	2,92	3,30
19	2,43	2,60	2,93	43	2,74	2,93	3,31
20	2,45	2,62	2,96	44	2,75	2,94	3,32
21	2,47	2,64	2,98	45	2,76	2,95	3,33
22	2,49	2,66	3,01	46	2,77	2,96	3,34
23	2,50	2,68	3,03	47	2,78	2,96	3,35
24	2,52	2,70	3,05	48	2,78	2,97	3,35
25	2,54	2,72	3,07	49	2,79	2,98	3,36
26	2,55	2,73	3,09	50	2,80	2,99	3,37
27	2,57	2,75	3,11	75	2,91	3,10	3,52
28	2,58	2,76	3,12	100	3,01	3,19	3,60

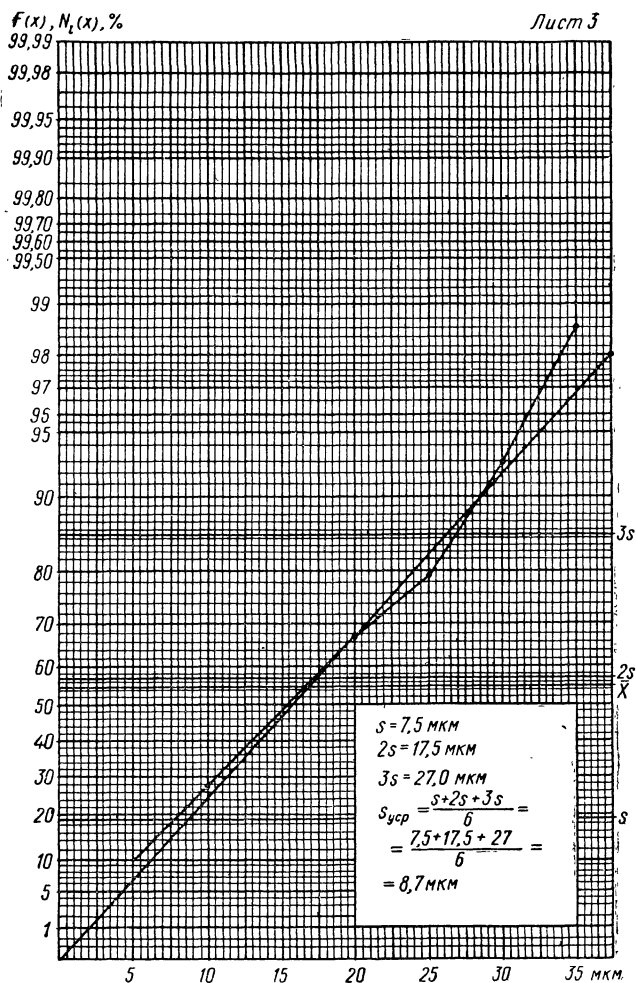
Составлено А. К. Кутаем и Г. З. Файнштейном.



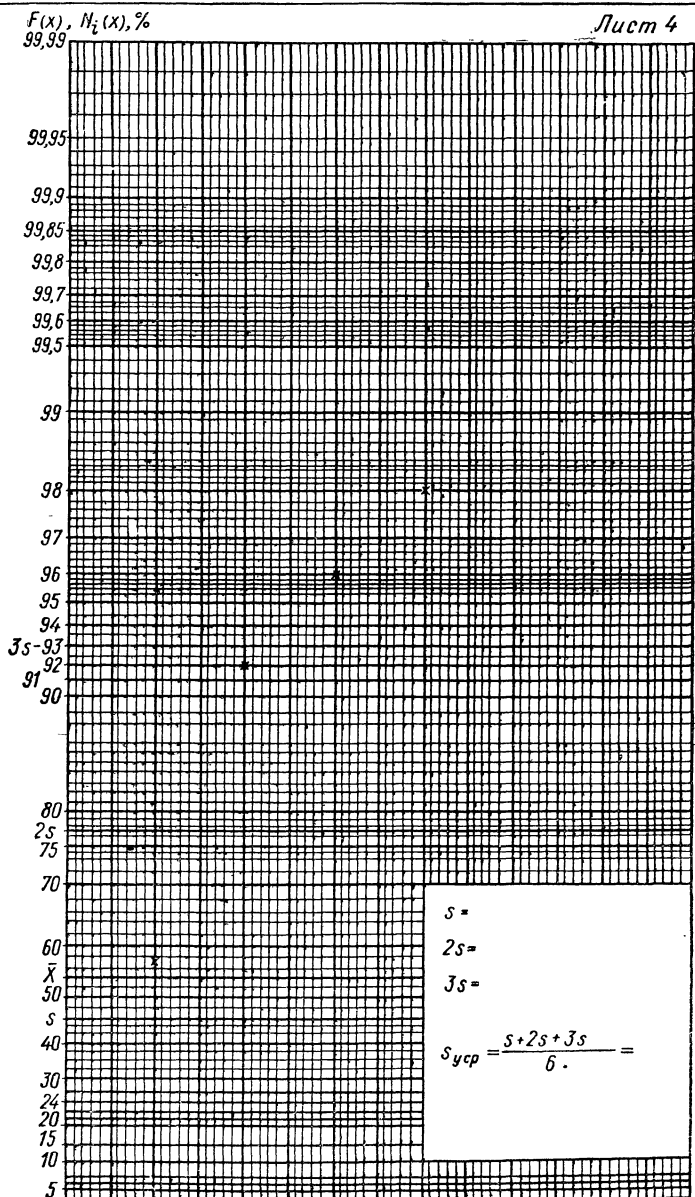
Вероятностная бумага для нормального закона распределения



Вероятностная бумага для равномерного закона распределения



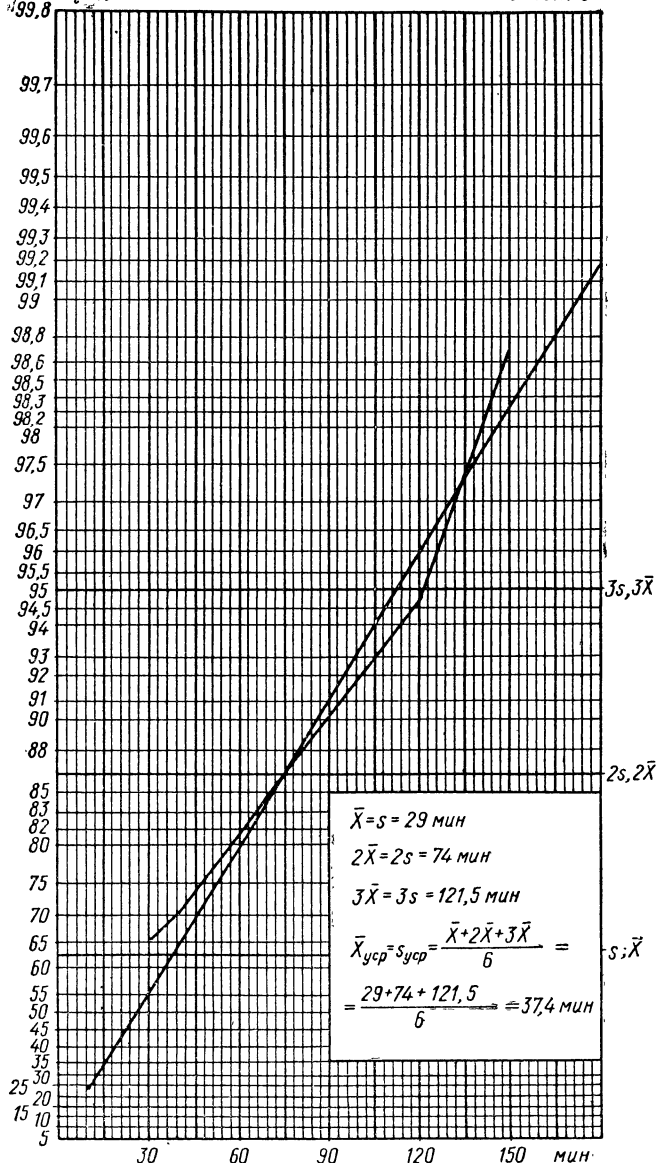
Вероятностная бумага для закона распределения Максвелла



Вероятностная бумага для функции упрощенного распределения модуля нормального закона

$\{F(x), N_0(\bar{x}), \%\}$

Лист 5



Вероятностная бумага для экспоненциального закона распределения

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

**ЦЕННИК ОСНОВНЫХ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ
ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА**

№ п/п	Наименование прибора ¹	Марка	Цена (в руб. и коп.)
<i>Прейскурант № 17—05</i> (Введен с 1/I 1973 г.)			
1	Автоколлиматор	АК-0,25	500—00
2	»	АК-0,5	420—00
3	»	АК-1	420—00
4	»	АК-30	340—00
5	»	АКУ-00	520—00
6	Автоколлиматор двухкоординатный малогабаритный	МГА	550—00
7	Автоколлиматор фотоэлектрический	АФ-2	1400—00
8	Бабка измерительная к микроскопу УИМ-21	ИБ-21м	140—00
9	Бабка измерительная	ИБ-25	1600—00
10	Головка окулярная двойного изображения	ОГУ-22	27—00
11	Головка профильная окулярная	ОГР-23	50—00
12	Головка оптическая делительная	ОДГ-10	770—00
13	То же	ОДГ-60	520—00
14	»	ОДГ-5Э	1800—00
15	Головка электроконтактная	ГК-3	160—00
16	Гониометр спектроскопический	ГС-5	1720—00
17	Длиномер горизонтальный	ИКУ-2	780—00
18	» »	КИЗ-2	485—00
19	Длиномер вертикальный проекционный	ИЗВ-3	600—00
20	Длиномер оптический вертикальный	ИЗВ-2	220—00
21	То же	ИЗВ-21	185—00
22	Катетометр	КМ-6	300—00
23	»	КМ-8	2280—00
24	Квадрант оптический	КО-10	325—00
25	» »	КО-30	100—00
26	» »	КО-1м	135—00

Продолжение прилож. 2

№ п/п	Наименование прибора	Марка	Цена (в руб. и коп.)
27	Компаратор горизонтальный	ИЗА-2	220—00
28	Машина измерительная	ИЗМ-10м	1020—00
29	» »	ИЗМ-11	1250—00
30	» »	ИЗМ-12	4500—00
31	Микроинтерферометр Линника	МИИ-4	265—00
32	Интерферометр иммерсионно-репликовый	МИИ-10	700—00
33	Микроинтерферометр	МИИ-9	520—00
34	Микроинтерферометр многолучевой	МИИ-11	1000—00
35	Микропрофилометр	МИИ-12	1200—00
36	Микроскоп визирный	ВМ	110—00
37	» горизонтальный	МГ	340—00
38	» измерительный	МИ-1	260—00
39	Микроскоп измерительный растровый однообъективный	ОРИМ-1	1840—00
40	Микроскоп инструментальный малый	ММИ-2	660—00
41	То же большой	БМИ-1	950—00
42	Микроскоп отсчетный	МИР-2	10—00
43	» перископический	ТС	620—00
44	Микроскоп универсальный измерительный	УИМ-21	1440—00
45	То же	УИМ-23	3900—00
46	Микроскоп двойной Линника	МИС-11	245—00
47	Насадка проекционная	ПН-7	60—00
48	Нивелир высокоточный	Н-1	500—00
49	Опоры призматические	ОП-23	60—00
50	Оптиметр вертикальный проекционный	ИКВ-3	390—00
51	То же горизонтальный	ИКГ-3	620—00
52	Оптическая линейка	ИС-36М	1215—00
53	Пластины плоскопараллельные стеклянные	ПМ-15	9—10
54	То же	ПМ-40	10—00
55	»	ПМ-65	16—00
56	»	ПМ-90	26—00
57	Пластины плоские стеклянные для интерференционных измерений	ПИ-60В	7—50
58	То же	ПИ-60Н	4—20

Продолжение прилож. 2

№ п/п	Наименование прибора	Марка	Цена (в руб. и коп.)
59	Пластины плоские стеклянные для интерференционных измерений	ПИ-80Н	6—00
60	То же	ПИ-100Н	10—00
61	»	ПИ-120Н	13—00
62	Прибор для контроля прямо- линейности, плоскостности и соосности	ППС-11	1250—00
63	Прибор для контроля червя- ков и червячных фрез	ПЧФ	525—00
64	Прибор для осмотра внутрен- них поверхностей полых деталей (труб, валов и т. п.)	РВП-452	205—00
65	Прибор для осмотра внутрен- них поверхностей полых деталей	РВП-456	205—00
66	То же	РВП-451	230—00
67	Прибор для осмотра и выяв- ления дефектов материала полых деталей (труб, валов и т. п.)	РВП-486	1650—00
68	Прибор для проверки парал- лельности и соосности осей	ППС-7	230—00
69	Прибор для проверки шага зубчатых колес	ПНЗ	205—00
70	Прибор светового сечения	ПСС-2	1650—00
71	» тенезого сечения	ПТС-2	450—00
72	Приспособление для измере- ния внутренних размеров	ИЗО-2	210—00
73	Приспособление для измере- ния отверстий	ИЗО-1	35—00
74	Приспособление для измере- ния проволоки	ИП-1	5—60
75	Приспособление для измере- ния среднего диаметра внутрен- них резьб	ИП-9	100—00
76	Проектор большой	БП	1560—00
77	» »	БП-3	1400—00
78	» настольный	ПМГ-1	2200—00
79	» часовой	ЧП-2	2300—00
80	Станина к оптической дели- тельной головке	ОДГ-60 сб. 6	345—00
81	То же	ОДГ-5Э сб. 6	120—00
82	Стенкомер оптический	ОС-1	190—00
83	Стол круглый	СТ-9	285—00
84	» »	СТ-26	1875—00

Продолжение прилож. 2

№ п/п	Наименование прибора	Марка	Цена (в руб. и коп.)
85	Стол	СТ-5 СТ-6 СТ-7 СТ-8	20—00 20—00 20—00 20—00
86	Стол с высокими центрами	СТ-2	75—00
87	Столик трехреберный	ИП-5	12—00
88	Струна оптическая	ДП-477м	1 700—00
89	Сферометр	ИЗС-7	215—00
90	»	ИЗС-8	260—00
91	Теодолит двухсекундной точности (без амортизационного ящика)	Т-2	900—00
92	Теодолит высокоточный оптический	Т-06	14 200—00
93	Теодолит оптический	ОТ-02М	990—00
94	» »	ОТ-1	1 300—00
95	Угломер оптический	УО-2	130—00
96	Ультраоптиметр	ИКП-3	700—00
97	Устройство измерительное проекционное	ИЗВ-23	500—00
98	Центры вертикальные	ПП-2	20—00
99	» горизонтальные	ПП-3	30—00
<i>Прейскурант № 18—05</i> (Введен с 1/1 1973 г.)			
100	Биенномер для контроля зубчатых колес	25002 исполнение I	630—00
101	То же	» II	710—00
102	Биенномер для контроля цилиндрических и конических колес, модель Б-10М	Б-10М	601—00
103	Волномер	БВ-5024	3 013—00
104	»	БВ-5024-01	457—00
105	Головка измерительная пружинная оптическая	01П	58—00
106	Головка измерительная рычажно-зубчатая с электроконтактами	2ЭҚШ	28—00
107	То же	ЭГР	49—50
108	Зубомер кромочный для колес внутреннего зацепления	БВ-5016-К	225—00
109	То же	БВ-5017К	228—00

Продолжение прилож. 2

№ п/п	Наименование прибора	Марка	Цена (в руб. и коп.)
110	Зубомер кромочный индика- торный, модель ЗИМ	ЗИМ-16	50=00
111	То же	ЗИМ-32	85=00
112	Зубомер тангенциальный	2301	35=00
113	» »	2311	49=50
114	Зубомер тангенциальный, мо- дель 2301 с приспособлением для стационарного использова- ния	2301 29200	146=00
115	Интерферометр контактный вертикальный экранный, модель ИКВ-Э	250	1153=00
116	Интерферометр горизонталь- ный контактный окулярный, мо- дель ИКГ-О	ИКГ-О	1400=00
117	Интерферометр вертикальный контактный окулярный, модель ИКВ-О (с комплектом столов)	264	831=00
118	Кинематометр магнитоэлектри- ческий	МЭК-1СО	1670=00
119	Контактомер	БВ-5028	7669=00
120	Кругломер	218	5471=00
121	» настольный	БВ-2003	4509=00
122	Линейки синусные без опор- ной плиты с одним наклоном ЛС-1	132-1	12=20
123	То же	133-1	15=30
124	»	134-1	24=00
125	»	136-1	31=50
126	»	139-1	38=50
127	Линейки синусные с опорной плитой с одним наклоном ЛС-II	142-II	145=00
128	То же	138-II	420=00
129	» с центрами	135-II	270=00
130	Линейки синусные с двумя опорными плитами с двумя на- клонами ЛС-III	140-III	469=00
131	То же	141-III	596=00
132	Межцентромер для контроля кинематической точности и плав- ности работы цилиндрических зубчатых колес	МЦ-320М	5000=00
133	Нормалемер	1КНБ	28=00
134	»	2КНБ	30=00
135	»	БВ-5045	92=00

Продолжение прилож. 2

№ п/п	Наименование прибора	Марка	Цена (в руб. и коп.)
136	Нормалемер	БВ-5046	130—00
137	То же, модель 2221-К	700	110—00
138	Нормалемер мелко модульный БВ-5047	БВ-5047-25	75—00
139	То же	БВ-5047-50	78—00
140	Оптикаторы	О1ПК	70—00
141	»	О2П	58—00
142	»	О2ПК	70—00
143	»	О5П	58—00
144	»	О5ПК	70—00
145	»	1П	79—00
146	Преобразователь фотоэлектри- ческий, модель ПФС	ПФС-10	177—00
147	То же	ПФС-50	255—00
148	Прибор для измерения микро- проволочек	266	1496—00
149	Прибор для измерения откло- нений от сферической формы ша- риков	993	2396—00
150	Прибор для измерения сред- него диаметра трех и пятикана- вочных метчиков	РМ	34—50
151	Прибор для измерения чер- вячных фрез, модель 19295	Исполнение I	7607—00
152	То же	» II	3916—00
153	Прибор для контроля кинема- тической погрешности цилиндри- ческих зубчатых колес	УКМ-5	8174—00
154	То же мелко модульных зубча- тых колес	БВ-5033	6056—00
155	Прибор для контроля кинема- тической погрешности цилиндри- ческих зубчатых колес	БВ-5053	8021—00
156	Прибор для комплексной двух- профильной проверки мелко- модульных цилиндрических зубча- тых колес (межцентромер)	МЦ-160М	3680—00
157	То же	МЦ-160МРС	2810—00
158	»	МЦ-160МР	907—00
159	Прибор для проверки изделий на биение в центрах ПБ	ПБМ-200	44—80
160	То же	ПБМ-500	78—00
161	»	ПБМ-1400	520—00
162	Прибор для проверки индика- торов часового типа ПКИ	2ПКИ	484—00

Продолжение прилож. 2

№ п/п	Наименование прибора	Марка	Цена (в руб. и коп.)
163	Прибор для линейных измерений с электронным индикатором контакта	269	3600—00
164	Прибор индуктивный, модель АК-3А	АК-3А	326—00
165	Прибор пневматический, модель К-50 к станку, модель ЛЗ-204	К-50	803—00
166	Прибор пневматический, модель БВ-4009 для сопряженного шлифования со скобой, модель БВ-3153-40	БВ-4009	1188—00
167	То же со скобой, модель БВ-3153-80	БВ-3153-80	1194—00
168	То же со скобой, модель БВ-3153-125	БВ-3153-125	1212—00
169	Прибор пружинный ИПШ	2ИПШ	112—00
170	» » ИПШ	1ИПШ	112—00
171	» » ИПШ	02ИПШ	121—00
172	» самопишущий класса 3	254	1588—00
173	То же класса 2	260	1697—00
174	»	БВ-6062	1344—00
175	Приборы седлообразные индикаторные	6ПМ	119—00
176	То же	5ПМ	149—00
177	Прибор универсальный для поэлементного контроля зубчатых колес и шевров	БВ-5015	6150—00
178	Прибор универсальный для поэлементного контроля цилиндрических и конических зубчатых колес	БВ-996	2754—00
179	Призма магнитная	ПМ	44—50
180	Профилومتر 240	П-10	837—00
181	» портативный 253	П-10	993—00
182	Профилومتر-профилограф 201	ПГ-5 ПГ-7	1524—00
183	То же 202	ПГ-5 ПГ-7 ПГ-10	2724—00
184	Система измерительная электронная	207	830—00
185	Угломер маятниковый	ЗУРИ	11—40
186	Уровень с микрометрической подачей ампулы	119	19—70
187	То же	107	120—00

Продолжение прилож. 2

№ п/п	Наименование прибора	Марка	Цена (в руб. и коп.)
188	Уровень гидростатический (без бака)	115-1	167—00
189	То же	115-2	164—00
190	Бак уровня гидростатического	115-0-02	47—00
191	Устройство для измерения шероховатости криволинейных поверхностей и приспособление для определения волнистости поверхности	202-8	301—00
192	Устройство для контроля колес внутреннего зацепления с комплектом измерительных наконечников	25002-040	144—00
193	Ходомер	БВ-5034	12 012—00
194	Шагомер для измерения окружного и основного шагов	БВ-5043	500—00
195	То же	БВ-5044	530—00
196	То же для колес внутреннего зацепления	БВ-5001М	350—00
197	Шагомер для измерения основного шага цилиндрических зубчатых колес модели 21501	10	145—00
198	Шагомер для измерения основного шага цилиндрических зубчатых колес с приспособлением для стационарного использования, модель 290	10 с приспособлением	280—00
199	Шагомер полуавтоматический, модель ШМ-1	Исполнение I	3 952—00
200	То же	Исполнение II	4 198—00
201	Широкодиапазонный прибор, модель XIII-9	XIII-9	4 755—00
202	Эвольвентомер универсальный	КЭУСМА	4 031—00
203	»	КЭУСМБ	4 031—00
204	»	БВ-5032	6 912—00
205	Экзаменатор уровней и ампул с трубкой оптиметра	130-I	306—00
206	То же с индикатором многооборотным, модель 1МИГ	130	277—00

Наименования приборов указаны по прейскурантам.

АЛФАВИТНО-ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Страницы, отмеченные звездочкой (*), содержат таблицы с цифровыми данными

А

Абсолютная погрешность измерения — 439
Автоколлиматоры — 598, 606, 607, 694
Автоматизация контроля — 722
Автоматы контрольно-сортировочные — 757
Активный контроль — 436, 765—777
Ампер (определение) — 442
Анализ статистических связей — 877
— технологических процессов — 884
Арбитражная проверка — 465
Асимметрия (статистическая) — 886

Б

База конструктивная — 20
— конуса — 125
Базовая длина — 703
— линия — 781
Базорасстояние — 125
Биениемер — 593, 652, 677
Блоки концевых мер — 476
— угловых плиток — 586
Боковики к концевым мерам — 476—477
— с вырезами — 640
Боковой зазор (зубчатого зацепления) — 674
Большие размеры, измерения — 555—568
Большой инструментальный микроскоп — 528
— проектор — 538
Бринель, определение твердости — 824

В

Вариация показаний измерительного прибора — 440, 445
Ватт — 443
Вероятностная бумага — 866
Вертикальный длиномер — 519—520
— оптиметр — 516
Верхнее предельное отклонение — 13
Весовой метод определения толщины — 814
Взаимозаменяемость — 19—21
— резьб с покрытием — 169—172

Визирные марки — 582
Виккерс, определение твердости — 827
Винты ходовые — см. ходовые винты
Влияние погрешности на результат разбраковки — 469—474
Внутренние резьбы, измерение — 637
Внутренний диаметр, приспособление для измерения — 523, 527, 532
— резьбы, измерение — 637, 640
Вогнутость (поверхности) — 229*
Волнистость (поверхности) — 231*
Волномер — 654, 661
Вольт (определение) — 443
Воспроизводимость измерений — 440
Вставки к резьбовым микрометрам — 616, 618*
Выборка (статистическая) — 853
Выборочная медиана — 865
— совокупность — 854
Выбор средств измерений — 458
Выпуклость (поверхности) — 229*
Высота неровностей — 781, 782
Высота среза (зуба) — 175*—176*
Высотомер — 580
Высоты и глубины, калибры — 304—311
Выявление внутренних дефектов — 843—851
— поверхностных дефектов — 836—842

Г

Гамма-лучи (дефектоскопия) — 848
Гарантированный боковой зазор — 192*
Гидростатический уровень — 701
Гладкие калибры — 280
Глобoidные передачи — 204
Глубиномеры индикаторные — 497
— микрометрические — 491
Глубина захода (зуба) — 175*
Гониометры — 598
Горизонтальный длиномер — 519, 523
— оптиметр — 516
Градус Кельвина — 442
Грубая погрешность измерения — 439
Группы посадок — 15

Д

Двойное отклонение (метод) — 589, 590
 Двойной микроскоп — 795
 Действительное значение меры — 438
 — физической величины — 435
 — отклонение — 13
 Действительный размер — 13
 Деление шкалы (определение) — 438
 Делительные бабки — 532, 602
 — головки и столы — 602—606
 Делительный диаметр колеса — 178
 Дельтаметр (прибор) — 728
 Дефектоскопия гамма-лучами — 848
 — просвечиванием — 847
 Джоуль (определение) — 443
 Диапазон измерений — 438
 — показаний — 438
 Диафрагма микроскопа — 630
 Динамические испытания металлов — 815
 Длина общей нормали (измерение) — 649, 656*, 667
 Длина свинчивания резьбы — 149*, 150*
 Длиномер — 519—526
 Доверительные границы погрешности — 440
 Дополнительные принадлежности к микроскопам — 530
 Допускаемые отклонения температуры — 303*, 449*
 Допуск размера — 13, 24*—27*
 — посадки — 16
 Допуски внутреннего диаметра резьбовых калибров — 384*—387*
 — деталей из пластмасс — 74, 77, 78*—81*
 — зубчатых передач — 178
 — ИСО — 67, 68*, 69*, 70, 71*—73*, 74, 75*—76*
 — калибров гладких — 284, 285, 286*—297*, 298—300, 305, 306*—311
 — для контроля расположения поверхностей — 413, 414, 415*—421*, 422, 423, 424*, 425*, 426—434
 — для контроля формы поверхностей — 398, 399, 400*, 401*
 — резьбовых — 351—353, 358*—396*
 — конических зубчатых передач — 198
 — метрических резьб — 146, 151*, 164—166, 168
 — с натягом — 166
 — на калибры для конусов — 330*—333*
 Допуски на конуса и углы — 125
 — линейные размеры — 220
 — наружного диаметра резьбовых калибров — 358, 374*—383*
 — на угловые размеры — 130*—133*, 134
 — основных отверстий и валов — 28*
 — подшипников качения — 82, 83, 84*—99*, 100, 101, 102*—107*
 — отклонений формы — 233*, 234*, 251*—254*

— профильных калибров — 402—404
 — половины угла профиля резьбовых калибров — 396*
 — расположения осей отверстий — 266—278
 — свободных размеров — 221—222
 — среднего диаметра резьбовых калибров — 360*—373*
 — червячных передач — 204, 209, 210*—220*
 — шага резьбовых калибров — 396*
 — шкал линейек — 484
 — шлифовых соединений — 110*—117*, 119*
 — шпоночных соединений — 123, 124*
 Дюймовая резьба — 137

Е

Единица физической величины — 435
 — допуска — 21, 23
 Единообразие средств измерений — 441
 Единство измерений и единицы измерений — 441
 Единовременная выборка — 884
 Емкостные преобразователи — 732*

Ж

Жесткость гамма-лучей — 848

З

Зависимые допуски расположения — 236, 238, 239
 Зазор (определение) — 15
 Закон логарифмического распределения — 858
 Закон нормального распределения — 857*, 862
 — равновероятного распределения — 856, 857*
 — распределения Максвелла — 859*
 — модуля нормального закона — 860*
 — t -распределения (Стьюдента) — 861*
 — экспоненциального распределения — 859*
 Замена непредпочтительных допусков — 66
 Значение физической величины — 435
 Значения твердости, сравнительные данные — 827*
 Зубомерный микрометр — 489, 656*
 Зубомеры — 656*, 674
 Зубчатые зацепления — 172—220
 — колеса, допуски — 178—220
 — конические — 178, 198
 — цилиндрические, допуски — 178—198

И

Измерение (определение) — 436
 — больших размеров — 555—568
 — винтовой линии червяка — 680

- внутреннего диаметра резьбы — 637
- внутренних резьб — 637, 640, 641
- волнистости — 719—721
- деталей сложной формы — 569—583
- длины общей нормали — 656*, 667—668
- зубчатых колес — 647—688
- кинематической и циклической погрешности — 648, 650*, 658*—662, 677*
- конических колес — 676—679
- — резьб — 641—646
- конусов — 610—613
- Измерение косвенное — 436
- линейных размеров — 475—554
- межцентрального расстояния — 650
- многозаходных резьб — 634
- накопленной погрешности окружного шага — 662—664
- направления зуба — 652*, 671
- некруглости — 705—706
- непараллельности — 711—714
- пересечения осей — 718
- перпендикулярности — 715
- непрямолинейности и неплоскостности — 689—705
- несимметричности — 719
- несоосности — 717
- нецилиндричности — 709
- ножами — 631, 633
- прямое — 436
- окружного шага колеса — 650*, 664
- осевого шага червяка — 684
- основного шага колеса — 654
- от дополнительных баз — 561
- отклонений формы и расположения поверхностей — 689—721
- по хорде и высоте сегмента — 563
- профиля зубьев — 669
- расстояний между центрами — 650*
- резьб — 615—646
- смещения исходного контура — 674
- среднего диаметра резьбы — 616—632
- толщины зуба колеса — 674, 679
- покрытий — 801—814
- торцевого и радиального биения — 715—716
- Измерение угла профиля резьбы — 635, 636
- углов и конусов — 584—614
- цилиндрических колес — 648—676
- червяков и червячных колес — 679—686
- шага резьбы — 632—635
- зацепления — 668—669
- ходовых винтов — 634
- шероховатости поверхности — 780—800
- элементов шлицевых деталей — 580
- Измерения совокупные — 436
- Измерительная бабка (к микроскопу) — 532, 602
- машина — 523
- Измерительное усилие — 451, 490
- Измерительные головки — 499—504, 506*
- микроскопы — 528—536
- преобразователи — 723—741
- стенды — 573
- Измерительный прибор (определение) — 437
- Износ гладких калибров — 300, 301*, 302
- Изогнутость — 227
- Изотопы радиоактивные — 809
- Индикаторная скоба — 509
- Индикаторный глубиномер — 497
- нутромер — 508
- стенкомер — 499
- толщиномер — 497, 498*
- Индикаторы рычажные — 501
- часового типа — 495, 496
- Индуктивные толщиномеры — 805, 806*
- Индуктивный уровень — 595, 702
- Индукционные толщиномеры — 803, 806*
- Инструментальные конусы — см. конусы инструментов
- Инструментальная погрешность — 439
- Инструментальный микроскоп — 528
- Интерференционный микроскоп — см. интерферометры
- Интерферометр — 539, 543, 544*, 545, 699
- Исключение систематических погрешностей — 454
- ИСО, система допусков — 67—75, 462*—464*
- Испытание на изгиб — 829
- на изгиб — 820
- на износ — 815
- на кручение — 821
- на осадку — 829
- на растяжение — 816—818
- на сжатие — 819
- на твердость — 815, 824
- на ударную вязкость — 822
- на усталость — 815, 823
- пружин — 830—832
- Истинное значение физической величины — 434
- Исходный контур (зубчатого колеса) — 174

К

- Калибр (определение) — 437
- Калибры — 280—434
- гладкие — 280, 285, 286*—297*, 298—300, 301*, 302—304
- для глубин и высот уступов — 304—311
- контроля формы и расположения поверхностей — 398—434
- контрольные — 280, 290*—293*
- — резьбовые — 339, 340*, 345*, 346—353, 354*—356*, 357
- конусные — 329, 330*—333*, 334, 335*—338*

Калибры, назначение концевых мер при поверке — 302*
 — рабочие — 283, 285, 286*—289*, 294*—297*, 298—304
 — резьбовые — 339—398
 — шлицевые — 316—317, 318*—321*, 323—324, 325*—326*, 327—328
 — шпоночные — 329
 Кандела (определение) — 442
 Карусельный плоскомер — 692, 693*
 Катетометр — 539, 541*—542*
 Квадрант оптический — 595
 Квалитеты ИСО — 70
 Квантили — 891*
 Кельвина градус — 442
 Килограмм (определение) — 442
 Кинематическая точность конического колеса — 199*—200*
 — цилиндрического колеса — 182*—184*
 Кинематомер — 650*, 658—661
 Классы и разряды концевых мер длины — 476, 481*, 482*
 Класс точности средства измерений — 440
 Классы точности — 21, 444
 — резьбы — 138*—143*
 — чистоты поверхности — 783
 Колеса зубчатые — 172—175, 176*—177*, 178
 Коллиматоры — 399, 598, 694
 Командоаппараты — 744
 Комбинированные посадки — 17
 Комплексные калибры — 406—412
 — методы измерения резьб — 615
 — отклонения формы — 232
 Комплексный анализ — 910
 Коническая дюймовая резьба — 140*, 146
 Конические зубчатые передачи, допуски — 198, 199*—203*, 204—208
 — соединения — 125, 127*—128*
 Конструкции калибров — 280—283
 Контактное приспособление к микроскопу — 532
 Контактмеры — 671—673
 Контроль внутренних дефектов — 834
 — гладких конических изделий — 329, 330*—333*, 334
 — цилиндрических изделий — 280
 — глубин и высот уступов — 304
 — качества продукции — 436
 — сварных соединений — 833
 — коноидов и кулачков — 574
 — механических свойств металлов — 815—852
 — — пластмасс — 832
 — непараллельности — 405
 — перпендикулярности — 405
 — прямолинейности и неплоскостности — 689—705
 — огранки — 706
 — подшипников качения — 311 — 316
 — профиля турбинной лопатки — 577
 — размеров глубин и высот уступов — 304

— угольников — 588—590
 — формы и расположения поверхностей — 398—434
 — шероховатости поверхности — 780—800
 — шлицевых и шпоночных соединений — 316—317, 318*—319*, 320—324, 325*—326*, 327—329
 — шумовых характеристик зубчатых колес — 686—688
 Контрольно-сортiroвочные автоматы — 757—765
 Контрольный автомат (определение) — 437
 Контрольный полуавтомат (определение) — 437
 Контрольные пределы — 908
 Контур исходный — 174
 — положения — 238
 Конусные калибры — см. калибры конусные
 Конусомеры — 610—613
 Конусообразность поверхности — 226
 Конусы инструментов — 330*—333*
 — Морзе — 330*
 Концевые меры длины — 475—482
 Координатные приборы — 536
 Корреляционный анализ — 877
 Косвенные измерения — 436, 561—567, 608—613, 802
 Косозубые колеса — 172—174, 178
 Косость — 886
 Коэффициент глубины среза — 176*
 — смещения (статистический) — 885
 — точности — 885
 Коэффициенты линейного расширения — 450
 Кратные и дольные единицы — 443
 Критерий согласия (статистический) — 875
 Круглая резьба — 140*, 142*, 145
 Кругломеры — 705, 707*
 Круглый стол к микроскопу — 532
 Кулон (определение) — 443

Л

Лекальные угольники — 586—589
 Линейки поверочные — 690
 Линейные машины — см. измерительная машина
 Логарифмическое распределение — 862
 Лупы измерительные — 546
 Люкс (определение) — 443
 Люмен (определение) — 443
 Люминесцентный метод дефектоскопии — 837

М

Магнитная дефектоскопия — 839
 — структуроскопия — 842
 Магнитные толщиномеры — 803, 804*
 Максимальный предельный контур — 17
 Маломодульные зубчатые колеса — 178, 187*, 193*, 203*, 205*, 211*, 215*, 217*, 218*
 Малые размеры, допуски — 30*—40*

Машина измерительная — см. измерительная машина
 Международная система допусков — 67, 70
 Межосевое расстояние (зубчатой пары) — 181
 Межосевый угол (конических колес) — 205
 Межцентровое расстояние — 178
 — зубчатой пары, измерение — 650*
 Межцентромеры — 666
 Мера (определение) — 437
 Мера оценки точности — 885, 887*
 Меры длины концевые — 475—482
 — штриховые — 483*—484*
 — угловые — 584—586
 Метод единовременных выборок — 884
 — измерения (определение) — 436
 — магнитных порошков — 839
 — мгновенных выборок — 906
 — непосредственной оценки — 436
 — описывания — 562
 Метод осевого сечения — 535*
 — слепков — 797
 — сокращенного допуска (статистический) — 921
 — сравнения — 436, 570
 — структуроскопии — 842
 — трех (контроля) — 589
 — трех проволочек — 619—627
 Методы измерений — 436
 Метр (определение) — 442
 Метрические резьбы — 136
 — конусы — 332*
 Метрология — 435
 Метрологическая служба — 441
 Механизация и автоматизация контроля — 722—779
 Механические испытания металлов — 815
 Механотрон — 732*
 Микроинтерферометр — 791—793
 Микрокатор (прибор) — 503
 Микрометрический глубиномер — 491
 — инструмент — 488—494
 — нутромер — 492—494
 Микрометры зубомерные — см. зубомерный микрометр
 — настольные — 491, 512
 — — 488—491
 — листовые — 489
 — рычажные — 511—515
 — со вставками — 490
 — трубные — 490
 Микроскоп двойной — 795
 Микроскоп инструментальный — 528—530, 533*—535*
 — интерференционный — см. микроинтерферометр
 — сравнения — 799
 — универсальный — 530—536
 Микротелескоп — 694
 Микротвердость — 828
 Миникатор (прибор) — 501
 Минимальный предельный контур — 17
 Многогранные призмы — 584—586, 606, 607

Многозаходная резьба, измерение — 634
 Модули зубчатых колес — 176, 177*
 Моль (определение) — 443

Н

Наборы концевых мер — 478*—480*
 Нагружение подшипниковых колес — 100, 101*—102*
 Назначение концевых мер — 302*
 Наибольший и наименьший зазор (натяг) — 16
 — — предельный размер — 13
 Наивыгоднейшие диаметры проволок — 620, 621*—622*
 Наименьшее утонение витка червяка — 218*
 — зуба — 206*—208*
 Наименьший боковой зазор — 205*, 217*
 Накопленная погрешность окружающих шагов — 662
 Направление зуба, измерение — 649
 Натяг (определение) — 15
 Независимые допуски расположения — 235
 Некруглость — 224*, 235*
 Непараллельность — 240*—242*
 Непересечение осей — 247*
 Неперпендикулярность — 242*
 Неплоскостность — 228*
 Неподвижные соединения — 126
 Непрямолинейность — 228*
 Несимметричность — 247*
 Несоосность — 244*—245*
 Несопряженные размеры — 220
 Нефункциональные размеры — 220
 Нецилиндричность — 224*
 Нивелир — 702
 Нижнее предельное отклонение — 13
 Новикова передача — 175, 178
 Ножи измерительные — 532, 631
 Номинальное значение меры — 438
 Номинальный размер — 13
 — — резьбы — 137
 Нониусы — 488
 Нормализованные узлы автоматизации контроля — 741—747
 Нормальная температура — 448—449
 Нормальное распределение — 862
 Нормальные конусности — 128*—129*
 — линейные размеры — 17, 19
 — условия измерений — 448—451
 Нормы кинематической точности конических колес — 199*—200*
 — — конических передач — 203
 — — цилиндрических колес — 182*—186*
 — — червячных колес — 211*—213*
 — контакта и точности монтажа червячных передач — 215*—216*
 — — цилиндрических зубчатых колес — 187*
 — плавности работы колес — 188*—191*, 201*—202*, 214*
 — точности червяков — 210*
 Нулевая линия 13

Нутромеры — 492, 493, 508
 Ньютоны (определение) — 443

О

Обкатной ролик, прибор — 565
 Области применения зубчатых передач — 179*
 Обобщенное распределение — 862
 Обозначение допусков и посадок — 41
 — отклонений по ИСО — 71*
 — резьб — 146, 148
 — шероховатости поверхности — 784*
 Обработка данных измерений — 453
 Образец просвета — 689
 Образцовое средство измерений — 437
 Образцы шероховатости поверхности — 798—799
 Общая совокупность (статистическая) — 853
 Объективы сменные для микроскопов — 530
 Объекты измерений по рядам точности — 465
 Овальность поверхности 225*
 Огранка — 226, 706
 Ожидаемая погрешность результата измерения — 441
 Окружная скорость (колес) — 175, 176*
 Окружной шаг зубчатого колеса — 664
 Окулярная резьба — 140*, 144
 Окулярные головки — 529
 Окулярный микрометр — 791
 Ом (определение) — 443
 Опорная длина профиля — 782
 Оптикатор (прибор) — 503
 Оптикомерные приборы — 516—546
 Оптиметры — 516, 521*
 Оптическая линейка — 697
 — струна — 695
 Оптические длиннымеры — 519, 522, 523, 525*, 526*
 — методы измерения больших размеров — 566
 — — — толщины пленок — 811
 Оптический зубомер — 676
 — угломер — 591
 Освещенность — 443, 451
 Оснащение поверхности твердым сплавом — 282—283, 302
 Основная единица физической величины — 435
 — погрешность — 441
 Основное отверстие — 16
 Основной вал — 16
 Основные отклонения отверстий и валов по ИСО — 72*—73*
 Основные понятия измерительной техники — 435—474
 — посадки — 17
 Отклонения от цилиндричности — 254*
 — от параллельности и перпендикулярности — 252*

— от плоскости — 228*
 — предельные — 13, 30*—40*, 42*—65*
 — — — размера — 13
 — — — размеров радиусов — 222*
 — расположения — 223, 235, 240*—250*, 253*
 — — — угловых размеров — 135*
 Отметка шкалы (определение) — 438
 Относительная погрешность измерения — 439
 Отсчет (определение) — 438
 Оформление результатов измерений — 452
 Охватываемая и охватывающая поверхности — 13

П

Параметры зубчатых зацеплений — 172
 — — — распределения — 868*—869*
 Паскаль (определение) — 443
 Пассивный контроль — 436
 Передача Новикова — 175, 178
 Переходные посадки — 15
 Печатающий измерительный прибор — 437
 Плитки угловые — 584
 Плотность и функции распределения — 857*—861*
 Плотные соединения — 126
 Пневматические измерительные приборы — 546—553
 Проверка гладких калибров — 283, 302*—303*, 304
 — нутромеров — 508
 — (определение) 441
 Проверочная схема — 435
 Проверочные линейки — 690
 Погрешности измерений — 439, 445
 — длиннымеров — 525*—526*
 — измерения зубомерами — 657*
 — — — шероховатости поверхности — 794*—795*
 — — — элементов резьбы — 638*—639*
 — — — измерительных головок — 506*, 507*
 — — — машин — 528*
 — индикаторов — 495*
 — микрометрических глубиномеров — 491
 — микрометров — 491*, 516*
 — микроскопов — 534*—535*
 Погрешности нутромеров — 508*—509*
 Погрешности оптиметров — 521*
 — рычажных микрометров — 514*—515*
 — — — скоб — 513*
 — стенкомеров — 499*
 — толщиномеров — 498*
 — угломерных головок — 597
 — угломеров — 591
 — угольников — 588*
 — уровней — 593—597
 — штангенинструмента — 487*
 — штриховых мер — 483*—484*
 Погрешность грубая — 439
 — меры — 438

— метода измерений — 439
— отсчитывания — 451
— систематическая — 439, 454
— случайная — 455
Подвижные соединения — 126
Показание средства измерений — 438
Показывающий измерительный прибор — 437
Поле допуска — 15
Поля допусков резьб — 151*
Поправка (определение) — 439
Порог реагирования средства измерений — 438
Посадки — 15
— подшипников — 103*—107*
Последующий анализ (статистический) — 909
Позэлементный контроль — 436
Правильность измерений — 440
Предел допускаемой погрешности средства измерений — 439
— пропорциональности — 817
— текучести — 818
— упругости — 817
Пределы измерений — 438
Предельные отклонения диаметров резьбы — 152*—168*
— отверстий и валов — 42*—65*
— формы цилиндрических поверхностей — 233*
— размеры — 13
Предельный контур — 17
Преобразователь (определение) — 437
Прессовые посадки — 29*, 35*, 42*—45*, 56*—57*
Приемные калибры — 283
Приемочный контроль (статистический) — 922
Прилегающая поверхность — 223
Принадлежности к конечным мерам — 476—477
— к угловым плиткам — 586
Принцип измерения — 436
Принципы выбора точности средств измерений — 458—469
Притирка концевых мер — 476
Проба на выдавливание — 830
— на перегиб проволоки — 829
— ϵ , расщепление — 829
Пробки (калибры-пробки) — 280—281
Проверка пятна контакта — 678
Проволочки измерительные — 621*
Проекционные приборы — 536—539, 540*
Проекционный метод измерения — 528
Производная единица физической величины — 435
Производственная взаимозаменяемость — 20
Производственный допуск — 465
Промежуточные размеры — 19
Просвечивание металлов — 847
Профилограф — 796
Профилометр — 793, 796, 797
Профильные калибры — 399—405
Пружинные измерительные головки — 501—503

Прямое измерение — 436
Пятно контакта — 187*, 195, 209, 215

Р

Рабочее средство измерений — 438
Рабочие калибры — 283
Равновероятное распределение — 856
Радиальное биение — 246*, 251*
— измерение — 715
— зубчатого венца, измерение — 652*—653*, 666
— червяка — 685
Радиальный зазор — 175*
Радиян — 443
Радиоактивные приборы — 848
Радиоизотопные толщинометры — 809, 810*
Радиус закругления у корня зуба — 175*
Радиусная профильная головка — 530
Размах показаний — 440
Размеры менее 0,1 мм — 30*—33*
— от 0,1 до 1 мм — 34*—40*
Разностенность — 247
Разностные допуски расположения — 236
Распределение Максвелла — 862
Распределение модуля нормального закона — 862
— Стьюдента — 863
Расчет допусков расположения — 255—266
Результат измерения — 452, 457
Резьба для обсадных труб — 142*—143*
— допуски — 146—172
— дюймовая — 138—139*
— замковая для бурильных труб — 142*—143*
— коническая — 142*—143*
— круглая — 142*—143*
— метрическая — 138*—139*
— с натягами — 138*—139*
— окулярная — 140*—141*
— с защитными покрытиями — 169—172
— трапецеидальная — 138*—139*
— трубная — 140*—141*
— упорная — 138*—139*
Резьбовой микрометр — 490
Резьбовые калибры — 339—398
— соединения — 136
— шаблоны — 635
Рентгеновская дефектоскопия — 847
Ресурс точности — 905
Роквелл, определение твердости — 826, 827
Ролики для контроля шлицевых калибров — 325*—326*
Ротаметры — 547
Рычажно-зубчатые головки и индикаторы — 501, 507*
Рычажно-механические приборы — 495—516
Рычажные скобы — 509—511, 513
Ряды допусков — 21

С

Самопишущий измерительный прибор — 437
 Сборный нутромер — 492—494
 Световой поток — 443
 Свинчиваемость резьб с защитными покрытиями — 169—172
 Свободные размеры — 134, 221—222
 Седлообразность — 227
 Секунда (определение) — 442
 Синусные линейки — 608—610
 Система допусков и посадок — 21
 Система единиц физических величин — 436
 Систематическая погрешность измерения — 439, 454
 Скобы деревянные — 559
 Скобы (калибры-скобы) — 282
 — линейные — 282, 558
 — рычажные — 509—511
 — сварные — 557
 Слепки. метод измерения — 797
 Случайная выборка — 854
 — величина — 855
 — погрешность измерения — 439, 455
 Смещение исходного контура — 193*—197*
 Совокупные измерения — 436
 Сопоставление посадок ОСТ и ИСО — 75*—76*
 Сопряженные размеры — 220
 Специальные углы — 129
 Спиральные микрометры — 530
 Способы выражения точности измерения — 452
 Среднеквадратическая погрешность — 454, 465
 Среднеарифметическое значение размера — 453
 Средний диаметр резьбы, расчет — 144
 Средняя линия профиля (микронеровностей) — 781
 Средства поверки калибров — 302*
 Стабильность технологической операции — 884
 Стандартизация шероховатости поверхности — 780—788
 Старение калибров — 302—303
 Статистические гипотезы — 874
 Статистические характеристики — 864
 Статистический приемочный контроль — 922—981
 Статистическое регулирование технологического процесса — 911—922
 Статические испытания — 815—824
 Стенкомеры — 499
 Степени точности резьбы — 147
 Стойки и штативы — 505*
 Столы делительные — 602
 Ступенчато-стержневые калибры — 304—305
 Суммарная погрешность измерения — 440, 456
 Сферометры — 544, 545*
 Сходимость измерений — 440

Т

Тангенциальный зубомер — 674
 Твердость металлов, испытания — 824
 Текущий анализ (статистический) — 909
 — контроль — 647
 Температура измерения — 445
 Температурная погрешность — 448—450
 Температурный коэффициент — 450
 Теневой способ измерения — 534*—535*, 630
 Теодолиты 598, 600—602
 Термодинамическая температурная шкала — 443
 Технологическая точность — 884
 Технологические испытания — 815, 829
 Токарная лупа — 636
 Токовыхревые толщиномеры — 807, 808*
 Толщина зуба — 196*
 — — измерение — 656*—657*
 Торцевое биение — 243*, 252*
 Торцевой индикатор — 496
 Точность измерений — 440, 451—458
 Трапецеидальная резьба — 144
 Трубная коническая резьба — 140*, 145
 Трубная цилиндрическая резьба — 137, 140*, 141*

У

Угловые меры — 584—591
 — шаблоны — 591
 Угломерные головки — 597
 — приборы — 591—607
 Угломеры — 591—593
 Угол подъема резьбы — 630
 — профиля резьбы, измерение — 635
 — (зуба) — 175*
 — уклона конуса — 611
 Угольники — 586—590
 Ударные испытания — 822
 Указатель (шкалы прибора) — 438
 Укороченный профиль резьбовых калибров — 348
 Ультразвуковая дефектоскопия — 843
 Универсальный длиномер — 523
 — микроскоп — 530
 — стенд — 573
 Упорная резьба — 144
 Уровни — 593—597
 Устойчивость операции — 884

Ф

Фарада — 443
 Физические методы измерения толщины — 812
 Форма поверхности, отклонения — 224
 Фотоэлектрические измерительные преобразователи — 730*—731*
 Функции распределения — 857, 933

Функциональная взаимозаменяемость — 21
 Функциональные размеры — 220

Х

Ходовые винты, измерение — 634
 Ходомер — 654
 Хромирование калибров — 302

Ц

Цветной метод дефектоскопии — 837
 Цена деления шкалы — 438
 Ценник измерительных приборов — 954—961
 Циклическая погрешность — 658
 Цилиндрические угольники — 587
 Цифровой измерительный прибор — 437

Ч

Часовой проектор — 537
 Часовые микрометры — 512
 Частота и частоты (статистические) — 854
 Червяки — 210
 Червячные передачи — 204
 Чувствительность измерительного прибора — 438

Ш

Шаг осевой червяка — 684
 Шагомеры — 634, 654*, 664
 Шаг неровностей — 781

Шаг основной, измерение — 654*—655*
 — резьбы, измерение — 632—635
 Шаг ходовых винтов, измерение — 634
 Шероховатость поверхности — 99*, 780
 Шкала (определение) — 438
 Шлицевые и шпоночные соединения — 108, 109*
 Штангенглубиномеры — 486
 Штангензубомеры — 676
 Штангенинструменты — 485—488
 Штангенрейсмасы — 487*
 Штангенциркули — 485, 487*
 Штриховая окулярная головка — 529
 Штриховые меры длины — 483

Щ

Щупы — 484, 485*

Э

Эвольвентные шлицевые соединения — 118, 119*—121*
 Эвольвентомеры — 652*
 Экзаменаторы — 596, 597
 Экспоненциальное распределение — 862
 Эксплуатационная взаимозаменяемость — 20
 Элементарные отклонения формы — 232
 Эталон (определение) — 457

**СПРАВОЧНИК
ПО ПРОИЗВОДСТВЕННОМУ КОНТРОЛЮ
В МАШИНОСТРОЕНИИ**

Под редакцией
Антоня Константиновича Кутая

Редактор издательства Т. Л. Лейкина
Переплет художника Г. А. Попова
Технический редактор А. А. Бардина
Корректоры Н. Қ. Кротова и З. С. Романова

Сдано в производство 8/V 1974 г. Подписано к печати 15/XI 1974 г. М-07980
Формат бумаги 84X108¹/₃₂. Бумага типографская № 3
Привед. печ. л. 51,24 Уч.-изд. л. 59,3. Тираж 70 000 (2-й завод 35001—70000) экз.
Зак. № 1385 Цена 3 р. 13 к.

Ленинградское отделение издательства «МАШИНОСТРОЕНИЕ»
191065, Ленинград, ул. Дзержинского, 10

Ленинградская типография № 6 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
193144, Ленинград, С-144, ул. Моисеенко, 10

