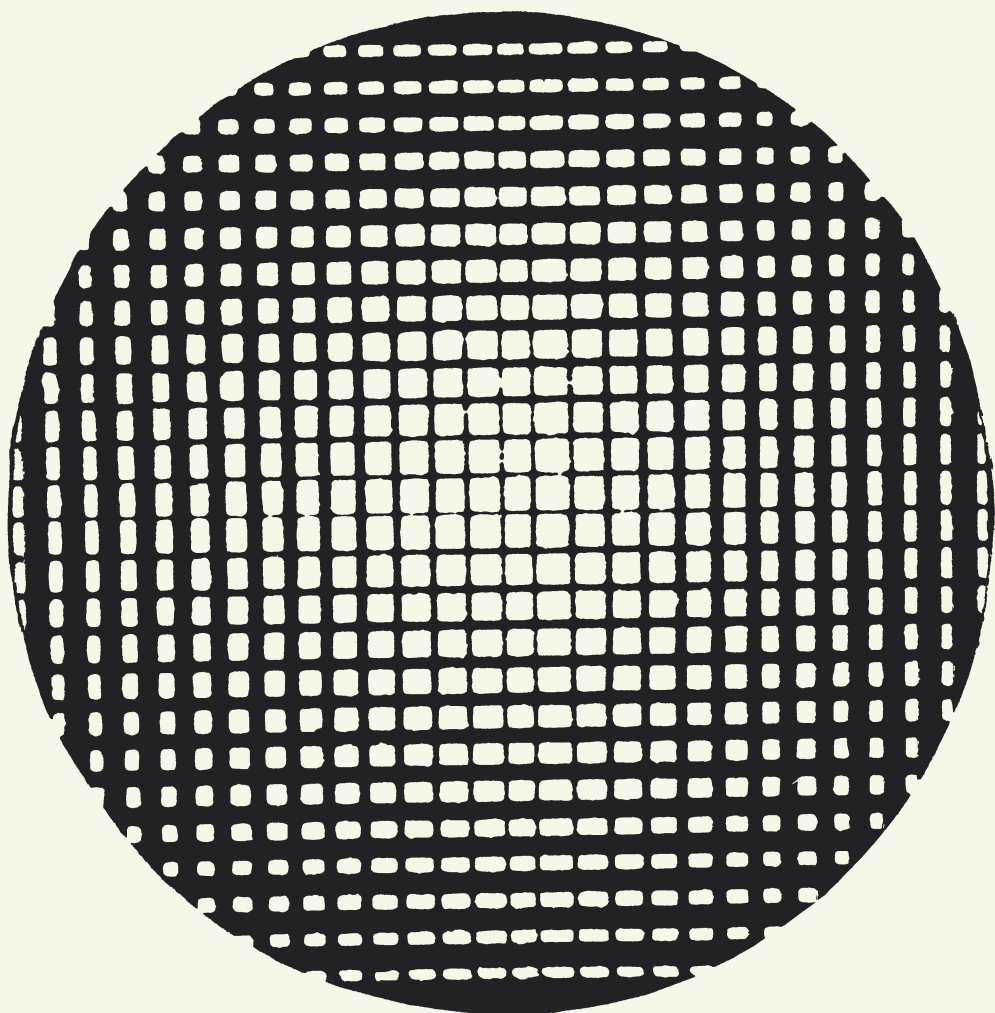


ПРАКТИКУМ
ПО ИНЖЕНЕРНОЙ
ПСИХОЛОГИИ



ЛЕНИНГРАДСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА
И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени А. А. ЖДАНОВА

ПРАКТИКУМ ПО ИНЖЕНЕРНОЙ ПСИХОЛОГИИ

Под редакцией
д-ра психолог. наук *А. А. Крылова*
и д-ра психолог. наук *В. А. Ганзена*



Издательство Ленинградского университета
Ленинград, 1978

*Печатается по постановлению
Редакционно-издательского совета
Ленинградского университета*

УДК 158.1+62.506.23

Практикум по инженерной психологии. Под ред. д-ра психолог. наук А. А. Крылова и д-ра психолог. наук В. А. Ганзена. Л., Изд-во Ленингр. ун-та, 1978, с. 1—168.

Настоящий «Практикум» является учебным пособием по инженерной психологии. Он содержит описание 23 практических работ по следующим темам: средства отображения визуальной информации, знаковая форма представления информации, прием и переработка визуальной информации, прием речевых и звуковых сигналов, инженерно-психологическая оценка. В начале каждой работы дается необходимое теоретическое введение.

«Практикум» предназначен прежде всего для преподавателей и студентов психологических факультетов университетов. Кроме того, его можно использовать в качестве учебного пособия в технических, экономических, художественных высших учебных заведениях. Многие из содержащихся в «Практикуме» методик могут представить интерес и для сотрудников инженерно-психологических лабораторий.

ИБ № 511

Практикум по инженерной психологии

Редактор *Н. Н. Крупинова*

Техн. редактор *А. В. Борщева*

Корректоры *Э. А. Горелик, Н. А. Гагарина*

Сдано в набор 22. X. 1977 г. Подписано к печати 24. II. 1978 г. Формат бумаги 60×90^{1/16}. Бум. тип. № 3. Уч.-изд. л. 10,07. Печ. л. 10,5. Бум. л. 5,25. Тираж 14514 экз. Заказ № 825. Цена 35 коп.

Издательство ЛГУ им. А. А. Жданова. 199164, Ленинград, Университетская наб., 7/9.

*Сортавльская книжная типография Управления по делам издательств, полиграфии и книжной торговли Совета Министров КАССР. Сортавала, Карельская, 42.

ВВЕДЕНИЕ

Инженерная психология — молодая и развивающаяся наука. Первая лаборатория инженерной психологии в Советском Союзе была создана в 1959 г. Она была организована в Ленинградском университете Б. Ф. Ломовым. Первая обобщающая монография по инженерной психологии «Человек и техника», написанная Б. Ф. Ломовым, появилась в 1963 г. Еще моложе инженерно-психологическое образование: первые кафедры инженерной психологии были созданы в Ленинградском и Московском университетах в 1966 г.

Задачи коммунистического строительства, научно-техническая революция все острее ставят проблему гуманизации техники. В решении этой задачи инженерная психология должна играть ведущую роль. Подготовка кадров инженерных психологов сейчас осуществляется в нескольких университетах страны. Очевидна и необходимость знаний по инженерной психологии для специалистов, выпускаемых техническими, экономическими, художественными высшими учебными заведениями.

К настоящему времени накоплен большой учебно-методический опыт. Инженерная психология располагает теперь большим фактическим материалом и обогащена результатами его использования в практике создания АСУ. Все это делает необходимым обобщение накопленного опыта в учебниках и учебных пособиях по инженерной психологии. Настоящее издание является одной из первых попыток обобщения опыта проведения практических занятий по инженерной психологии. Оно предназначено прежде всего для преподавателей и студентов перечисленных вузов. Многие из содержащихся в «Практикуме» методик могут представить интерес и для работников инженерно-психологических лабораторий.

Настоящий «Практикум» содержит описания двадцати трех практических работ. Большинство занятий (20 из 23) связано

с изучением деятельности по приему и переработке зрительной информации и средств представления такой информации человеку. Три занятия содержат задания по изучению приема речевых и звуковых сигналов. Все занятия «Практикума» сгруппированы в пять разделов. В разделе «Средства отображения визуальной информации» (занятия 1—5) изучаются различные индикаторы (главным образом стрелочные) и методы их оценки. В разделе «Знаковая форма представления информации» (занятия 6—9) изучаются различные характеристики знаков и знаковых систем. Различные виды деятельности, связанные с приемом и переработкой визуальной и речевой информации, изучаются на занятиях следующих двух разделов «Практикума» (занятия 10—16 и 17—19 соответственно). Последний раздел посвящен различным методам инженерно-психологической оценки (занятия 20—23).

Описание всех занятий сделано по единой схеме. Вначале дается теоретическое введение, в котором разъясняются сущность, значение и цели данного практического занятия. Затем формулируются конкретные задания, программа и методика их выполнения. Указывается перечень необходимой аппаратуры и дается ее краткое описание. Приводятся схемы обработки результатов и формы их окончательного представления. В заключение даются несколько контрольных вопросов и краткий указатель литературы.

Почти все занятия настоящего «Практикума» реализованы в учебной лаборатории факультета психологии Ленинградского государственного университета. Студенты, специализирующиеся по инженерной психологии, выполняют их на 4-м и 5-м курсах (8-й и 9-й семестры) после прослушивания основных курсов инженерно-психологического цикла.

Перед занятиями студенты изучают методические руководства, затем под наблюдением преподавателя выполняют задания и обрабатывают результаты с помощью настольных электронных калькуляторов. На одно занятие отводится 4 ч учебного времени. Так как в большинстве практических работ нужны «испытываемые», то каждую работу выполняет группа из 2—3 человек. За каждую работу ставится зачет.

Методики, вошедшие в настоящий «Практикум», разработаны авторами данной работы.

СРЕДСТВА ОТОБРАЖЕНИЯ ВИЗУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

ЗАНЯТИЕ 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕКТИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИНДИКАЦИОННЫХ ЧАСТЕЙ СТРЕЛОЧНЫХ (ШКАЛЬНЫХ) КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Стрелочные (шкальные) контрольно-измерительные приборы в настоящее время широко используются в самых различных системах контроля и управления. Эти приборы с успехом обеспечивают и контрольное, и качественное, и количественное чтение показаний¹.

Индикационная (показывающая) часть стрелочного контрольно-измерительного прибора состоит из циферблата, оцифрованной шкалы и стрелки (указателя)².

Циферблат — поверхность, на которую наносятся шкала и некоторые специальные обозначения. Цвет поверхности белый или черный.

Шкала — совокупность отметок, расположенных вдоль прямой или кривой линии и обозначающих ряд последовательных чисел, соответствующих значениям измеряемой величины. Возле отметок в определенной последовательности наносятся числовые значения измеряемой величины (оцифровка шкалы).

Отметки шкалы выполняются чаще всего в виде штрихов определенной длины и ширины. Для формирования шкалы обычно используются отметки трех видов:

— наибольшие по величине отметки (А) разделяют основные интервалы шкалы. Возле этих отметок наносятся числовые значения;

¹ Чтение показаний — прием информации человеком от прибора — имеет в своей основе сложные перцептивно-мыслительные процессы. При контрольном чтении эти процессы осуществляются на уровне, достаточном для принятия решения типа «да — нет» в отношении изменения контролируемой переменной. При качественном чтении устанавливается не только наличие или отсутствие изменения, но и его направление (качество). При количественном чтении (понятие, наиболее близкое понятию измерение) определяется численное значение переменной.

² Некоторые виды стрелочных индикаторов могут иметь несколько шкал или несколько стрелок.

— наименьшие по величине отметки (С) разделяют основной интервал на делений, соответствующие единице шкалы. Каждый основной интервал обычно содержит десять делений (таким образом, деление есть расстояние между соседними отметками С);

— средние по величине отметки (В) разделяют основной интервал на два промежуточных, содержащих по пять делений.

Числа оцифровки, наносимые возле отметок А, обычно содержат не более трех цифр. Отметки и цифры шкалы выполняются контрастным цветом по отношению к цвету циферблата (на белом циферблате — черные, на черном — белые).

По форме шкалы могут быть круговыми (если угол дуги шкалы более 180°); дуговыми³ (если угол дуги шкалы менее 180°); вертикальными, горизонтальными, наклонными; линейными (вертикальными и горизонтальными).

Стрелка (указатель) делается по цвету контрастной циферблату, т. е. обычно одного цвета со шкалой. Все стрелочные контрольно-измерительные приборы имеют либо подвижную стрелку относительно неподвижной шкалы, либо подвижную шкалу относительно неподвижной стрелки.

Процесс восприятия, связанный с приемом сигнала стрелочного контрольно-измерительного прибора, зависит от особенностей конструктивного исполнения индикационной части. Совокупность свойств индикационной части прибора, определяющих процесс восприятия (а значит, и временные затраты, и точность приема сигнала в заданных условиях), называется формальной читаемостью. Однако некоторые конструктивные особенности влияют не только на прием сигнала, но и на понимание его смысла. Совокупность таких особенностей называется смысловой читаемостью. В целом же под читаемостью вообще следует, очевидно, понимать совокупность свойств индикационной части, обеспечивающих чтение показаний, т. е. прием информации от прибора в заданных условиях с определенной точностью и временными затратами⁴.

Особенности конструктивного исполнения каждого элемента индикационной части, количество элементов, их взаимное расположение, контрастные отношения и т. п. в той или иной мере сказываются на процессе восприятия и, следовательно, определяют читаемость. Умение выделить и оценить наиболее существенные характеристики индикационной части прибора позволяет обоснованно решить вопрос об условиях его использования.

Цель занятия — на основе изучения индикационной части стрелочного контрольно-измерительного прибора определить до-

³ Иногда дуговые шкалы с углом дуги около 180° называются полукруговыми.

⁴ В настоящем занятии речь пойдет об определении только формальной читаемости приборов, но для краткости изложения будет использоваться термин «читаемость».

пустимую дистанцию наблюдения и допустимый угол наблюдения.

Объект: индикационная часть стрелочного контрольно-измерительного прибора.

МЕТОДИКА

1. Определение допустимой дистанции наблюдения

Измеряются (в линейных единицах) отметки А, В и С шкалы деления, цифры. На основании результатов измерения и приведенных ниже данных вычисляется допустимая дистанция наблюдения по формуле

$$d = \frac{3,44 \cdot l}{\alpha}, \quad (1)$$

где d — допустимая дистанция наблюдения, мм; l — линейные размеры элемента шкалы (результаты измерений), мм; α — оптимальный угловой размер, угл. мин.

Формула выводится, исходя из того, что один радиан (угол, под которым видна из центра окружности ее дуга, равная радиусу), составляет $57^{\circ}18'$. Определяется, какой угловой размер имеет 1 мм дуги при радиусе 1. В расчетах отрезок дуги длиной 1 мм при дистанции наблюдения 1 м принимается равным отрезку прямой, составляющей эту дугу.

Ясно, что чем больше действительный угловой размер объекта, тем больше разница между дугой и стягивающей ее хордой и, следовательно, возрастает ошибка при пользовании приведенной выше формулой. Наиболее точной формулой для расчета углового размера является следующая:

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{l}{2d}, \quad (2)$$

где α — угловой размер, град; l — величина объекта, мм; d — дистанция наблюдения, мм. Если по этой формуле определяется линейный размер или дистанция наблюдения, то значение тангенса соответствующего угла берется из соответствующих математических таблиц или вычисляется с помощью ЭКВМ.

Иногда для приближенных расчетов используется еще одна упрощенная формула:

$$\alpha = \frac{l}{0,018 \cdot d}, \quad (3)$$

где α — угловой размер, град; l — линейный размер объекта, мм; d — дистанция наблюдения, мм. Эта формула выводится, исходя из того, что радианной мерой любого угла является отношение этого угла к радиану, а отношение углов равно отношению их

**Величина ошибки (Δ) при разных способах расчета
длины при постоянной**

Формулы	α , угл. мин, Δ , угл. мин										
	1,0		25,0		35,0		150,0		220,0		60
	α	Δ	α	Δ	α	Δ	α	Δ	α	Δ	α
$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{l}{2d}$	3,44	—	85,9	—	120,3	—	514,7	—	753,3	—	2010,2
$\alpha = \frac{3,44 \cdot l}{d}$	3,44	0	86,0	+0,1	120,4	+0,1	516,0	+1,3	756,8	+3,5	2070,9
$\alpha = \frac{l}{0,018 d}$	3,33	—0,11	83,3	—2,6	116,7	—3,6	500,0	—14,7	733,3	—20,0	2006,7

дуг и, следовательно, отношению дуги к радиусу. Перевод в градусную меру осуществляется в соответствии со следующим равенством:

$$1^\circ = \frac{\pi}{180} \text{ рад} \approx 0,018 \text{ рад.} \quad (4)$$

Для того чтобы представить себе, в каких случаях возможно использование упрощенных формул, следует изучить табл. 1. Для большинства расчетов, которые будут проводиться по курсу практических занятий, можно считать приемлемым использование любой формулы для вычисления угловых размеров, если погрешность составляет не более 3,5 угл. мин по сравнению с результатом расчета через тангенс.

Оптимальный угловой размер для различных знаков

	α , угл. мин,
Отметка А шкалы	
высота	25,0
ширина	4,0
Отметка В шкалы	
высота	15,0
ширина	2,0
Отметка С шкалы	
высота	10,0
ширина	1,5
Деление шкалы	8,0
Цифры	
высота	30,0
ширина (кроме 1)	15,0
ширина обводки	5,0

Таблица 1

угловых размеров (α) линейных отрезков различной дистанции наблюдения 1 м

для линейных отрезков, мм											
2,0	620,0		630,0		638,0		650,0		1000,0		
Δ	α	Δ	α	Δ	α	Δ	α	Δ	α	Δ	
—	2066,8	—	2098,1	—	2123,1	—	2160,5	—	3187,8	—	
+60,7	2132,0	+65,2	2167,2	+69,1	2194,7	+71,6	2236,0	+75,5	3440,0	+252,2	
—3,5	2066,7	—0,1	2100,0	+3,1	2126,7	+3,6	2166,7	+6,2	3333,3	+145,5	

2. Определение допустимого угла наблюдения

Величина допустимого угла наблюдения (угла между перпендикуляром к плоскости циферблата и линией взора) определяется параллаксом и «колодезным» эффектом.

Параллакс — кажущееся смещение стрелки относительно отметки шкалы при угле наблюдения более 0° . Параллакс тем более выражен, чем больше расстояние между стрелкой и плоскостью циферблата, на которой нанесена шкала. Для щитовых контрольно-измерительных приборов, показания которых обычно считываются с точностью до половины деления шкалы, допустимым можно считать кажущееся смещение стрелки на величину, составляющую примерно 0,3 величины деления шкалы.

Измеряется величина деления шкалы — расстояние между стрелкой и плоскостью циферблата, где нанесена шкала.

Пояснение расчета дано на рис. 1. Допустимый угол наблюдения вычисляется следующим образом:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{0,3l}{b}. \quad (5)$$

По таблицам тангенсов или с помощью, например, ЭКВМ БЗ-18 находят угол β . После этого, исходя из допустимой дистанции наблюдения и допустимого угла наблюдения β , вычисляется допустимая величина смещения точки наблюдения (отрезок O_1O_2 на рис. 1):

$$O_1O_2 = \operatorname{tg} \beta \cdot a. \quad (6)$$

«Колодезным» эффектом называется сокрытие части циферблата бортом окна корпуса прибора, выступающим над поверхностью циферблата. Выраженность эффекта зависит от площади прибора, высоты борта корпуса прибора, угла наблюдения. «Колодезный» эффект допустим лишь в пределах, пока бортом не закрывается (хотя бы частично) шкала прибора вместе с оцифровкой.

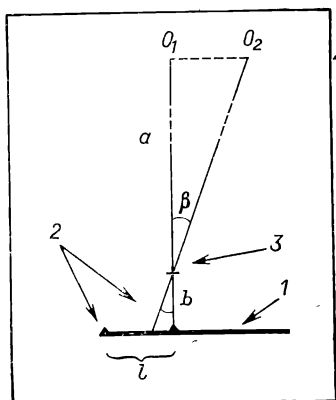


Рис. 1. Пояснение к расчету допустимого угла наблюдения по параллаксу стрелки.

1 — плоскость циферблата; 2 — отметки С; 3 — положение стрелки; O_1 — точка наблюдения при $\angle\beta=0$; O_2 — точка наблюдения при параллаксе стрелки 0,3 l ; a — расстояние от точки наблюдения до стрелки; b — расстояние от стрелки до циферблата; l — деление шкалы.

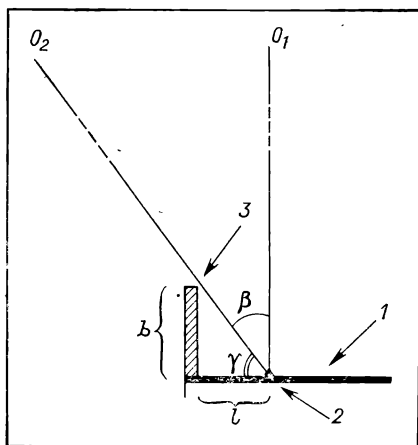


Рис. 2. Пояснение к расчету допустимого угла наблюдения по величине «колодезного» эффекта.

1 — плоскость циферблата; 2 — элемент шкалы, ближайший к борту окна корпуса; 3 — борт окна; O_1 — точка наблюдения при $\angle\beta=0$; O_2 — точка наблюдения при допустимом «колодезном» эффекте; b — высота борта окна; l — расстояние от борта до ближайшего элемента шкалы.

Измеряются высота борта окна корпуса над циферблатом (ϑ) и расстояние от борта до ближайшего элемента шкалы (l) (рис. 2). Сначала посредством вычисления тангенса определяется $\angle\gamma$, а затем $\angle\beta$:

$$\angle\beta = 90^\circ - \angle\gamma. \quad (7)$$

Результаты изучения прибора оформляются протоколом, в котором должны быть следующие разделы.

1. Общая характеристика прибора: количество шкал, стрелок; цвет циферблата, шкалы, стрелки; форма шкалы; характеристика отметок и оцифровки.

II. Результаты измерений:

№ п/п	Измеряемый элемент	Результат измерения

III. Формулы и вычисления с пояснениями.

IV. Общее заключение.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каковы пути уменьшения параллакса и «колодезного» эффекта для стрелочных контрольно-измерительных приборов?
2. Каковы возможности обеспечения оптимальных угловых размеров элементов индикационной части при разных дистанциях наблюдения?
3. Дать вывод формул (1), (2) и (3) с пояснениями на чертежах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Выгодский М. Я. Справочник по элементарной математике. М., 1966. 423 с.
2. Инженерная психология в применении к проектированию оборудования. Пер. с англ. М., 1971. 488 с.
3. Кравков С. В. Глаз и его работа. М.—Л., 1950. 532 с.
4. Крылов А. А. Человек в автоматизированных системах управления. Л., 1972. 192 с.

ЗАНЯТИЕ 2. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЧИТАЕМОСТИ СТРЕЛОЧНЫХ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ СО ШКАЛАМИ РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ

Одним из факторов, влияющих на скорость и точность чтения показаний прибора, является форма шкалы. Установлению особенностей влияния этого фактора на чтение и посвящается настоящее занятие.

Задание выполняется как эксперимент, в котором один из студентов выполняет функции экспериментатора, а другой — испытуемого. Исследуются четыре шкалы разной формы: прямолинейные — горизонтальная и вертикальная, круговая и полукруговая (горизонтальная).

Шкалы выполняются с учетом соответствующих инженерно-психологических требований. Длина шкалы (как величина постоянная в данном случае) должна быть одинаковой у всех четырех шкал (например, можно выбрать $l=150$ мм).

Порядок предъявления шкал и выставляемых на них показаний случаен. Испытуемый считывает показание с точностью до одного наименьшего деления шкалы и результат его сообщает вслух.

В первой серии эксперимента изучается точность считывания показаний со шкал различной формы. Испытуемый выполняет по 40 считываний с каждой шкалы. При этом время экспозиции ($t_э$) каждого показания ограничено и равно 0, 12 с. Экспериментатор фиксирует в протоколе результат выполненного считывания. Во второй серии изучается скорость считывания показаний. При этом время экспозиции показаний прибора не ограничивается. Экспериментатор фиксирует в протоколе время сенсоречевой реакции испытуемого по каждому выполненному отсчету. Со всех шкал испытуемый делает по 20 считываний.

В первой серии испытуемый работает с установкой на точность считывания, а во второй ему предлагается считывать показания по возможности быстро, но при этом не допуская ошибок в конечном результате.

Используется тахистоскоп типа «падающая шторка» с электронным секундомером, позволяющим измерять время с точностью не менее чем до 0,01 с (например, типа ССЭШ-63).

В исходном состоянии испытуемый сидит перед прибором, который закрыт от него шторкой (назовем ее шторкой № 1). При этом голова испытуемого фиксируется с помощью специальной подставки так, чтобы центр шкалы прибора находился на уровне глаз. Экспериментатор согласно заранее подготовленному протоколу опыта выставляет на приборе необходимое показание и нажимает кнопку предупредительного сигнала. В качестве предупредительного сигнала на пульте испытуемого можно использовать визуальный индикатор (лампочка красного цвета). В принципе предупредительный сигнал может даваться испытуемому и голосом в виде команды «Внимание».

Согласно инструкции при загорании сигнальной лампочки испытуемый должен сконцентрировать свой взгляд в центре шторки, который можно отметить специальным знаком (крест, квадрат и др.) и который соответствует центральной оси прибора, находящейся за шторкой. Однако следует отметить, что

в данном случае могут иметь место произвольные прослеживания движения глаз за фиксационной отметкой при падении шторки вниз. В тех случаях, когда время на считывание показания прибора ограничивается (особенно при коротких экспозициях, например, меньших 0,3 с), за счет таких прослеживающих движений глаз время экспозиции становится фактически еще меньше заданной величины, что в свою очередь может определенным образом отразиться на результате считывания. Этого можно избежать, если фиксационную точку для взгляда испытуемого выполнить в виде небольшого шарика, который устанавливается неподвижно перед шторкой на уровне центра шкалы. Спустя 1,5—2 с после подачи предупредительного сигнала экспериментатор нажимает на кнопку «Пуск». В соответствии с этим действием на пульте испытуемого падает вниз шторка № 1, открывая испытуемому прибор с выставленным на нем показанием. После истечения заданного времени экспозиции прибора (в настоящем задании $t_3 = 0,12$ с, поскольку при таком времени экспозиции более отчетливо проявляются различия в читаемости шкал) срабатывает реле времени, и прибор на пульте управления испытуемого закрывается шторкой (назовем ее шторкой № 2). Испытуемый должен назвать вслух результат отсчета, который он сумел сделать с предъявленного ему на ограниченное время показания прибора. Экспериментатор заносит в протокол результат отсчета, возвращает шторки № 1 и 2 в их исходное положение, выставляет на приборе следующее (согласно протоколу) показание, и дальше вся процедура опыта повторяется.

При исследовании скорости считывания после подачи предупредительного сигнала экспериментатор нажимает на кнопку «Пуск», падает шторка № 1 и одновременно включается секундомер, а с началом ответа испытуемого в микрофон падает шторка № 2 и секундомер выключается. Экспериментатор заносит в протокол величину времени латентного периода сенсоречевой реакции испытуемого, которое потребовалось последнему для безошибочного считывания предъявленного ему показания прибора. Затем, как и в предыдущем случае, шторки № 1 и № 2 возвращаются в исходное положение, с табло секундомера «сбрасывается» стоящее на нем значение времени сенсоречевой реакции для предыдущего отсчета, экспериментатор выставляет на приборе следующее (согласно протоколу) показание, и процедура опыта повторяется вновь.

В следующих заданиях мы уже не будем останавливаться вновь на описании процедуры опыта, если в нем используется тахистоскопическая методика.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

I. Для каждой формы шкалы данные опыта заносятся в протокол вида

№ отсчета	Форма шкалы			
	$A_э$	$A_{и}$	ΔA	$\beta_{пр}, \%$
1				
2				
3				
.				
.				
.				
40				

Здесь $A_э$ — величина конкретного показания прибора, выставленного экспериментатором; $A_{и}$ — результат считывания, выполненного испытуемым с конкретного показания прибора; $\Delta A = A_э - A_{и}$ — абсолютная погрешность; $\beta_{пр}$ — приведенная погрешность считывания; ΔA и $\beta_{пр}$ рассчитываются после эксперимента, ΔA записывается в протоколе без учета ее знака, так как в данном случае нужна только констатация факта, совершена ошибка ($\Delta A \neq 0$) или нет ($\Delta A = 0$).

Приведенная погрешность считывания вычисляется по следующей формуле:

$$\beta_{пр} = \frac{A_э - A_{и}}{A_{\max}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где $A_{\max}$ — предельное значение измеряемой величины, которое может быть измерено по шкале прибора. Введение приведенной погрешности обусловлено дифференцированным подходом к ошибкам считывания. В соответствии с этим подходом необходимо:

1. Пересчитать в протоколе эксперимента каждый ошибочный ответ в соответствующую приведенную погрешность согласно формуле (1). Например, для прибора, по шкале которого максимальное значение измеряемой величины равно 50, ошибка в отсчете на одно наименьшее деление шкалы при пересчете в приведенную погрешность будет равна

$$\beta_{пр} = \frac{1}{50} \cdot 100 = 2\%, \quad \text{т. е. } A_э - A_{и} = 1;$$

ошибка на два наименьших деления

$$\beta_{пр} = \frac{2}{50} \cdot 100 = 4\%, \quad \text{т. е. } A_э - A_{и} = 2;$$

ошибка на три наименьших деления

$$\beta_{пр} = \frac{3}{50} \cdot 100 = 6\%, \quad \text{т. е. } A_э - A_{и} = 3,$$

и т. д.

2. Сосчитать вероятности безошибочного считывания для соответствующих уровней приведенной погрешности. В данной работе выберем следующие уровни:

$$а) \beta_{\text{пр}} = 0; \quad P_{\text{б.с}} = \frac{m_0}{N}, \quad (2)$$

где $P_{\text{б.с}}$ — вероятность безошибочного считывания; m_0 — число абсолютно правильно выполненных отсчетов (т. е. $A_0 = A_{\text{н}}$); N — общее число показаний, предъявленных испытуемому в опыте;

$$б) \beta_{\text{пр}} = 2\%, \quad P(\beta_{\text{пр}} \leq 2\%) = \frac{m_1}{N}, \quad (3)$$

где $P(\beta_{\text{пр}} \leq 2\%)$ — вероятность того, что отсчет будет сделан с ошибкой не больше, чем на одно наименьшее деление шкалы; m_1 — общее число абсолютно правильно выполненных считываний и тех, ошибка в которых не превышает одного наименьшего деления шкалы;

$$в) \beta_{\text{пр}} = 4\%, \quad P(\beta_{\text{пр}} \leq 4\%) = \frac{m_2}{N}, \quad (4)$$

где $P(\beta_{\text{пр}} \leq 4\%)$ — вероятность того, что считывание будет сделано с ошибкой не больше, чем на два наименьших деления шкалы; m_2 — общее число абсолютно правильно выполненных считываний, а также с ошибкой на одно и на два наименьших деления;

$$г) \beta_{\text{пр}} = 6\%, \quad P(\beta_{\text{пр}} \leq 6\%) = \frac{m_3}{N}, \quad (5)$$

где $P(\beta_{\text{пр}} \leq 6\%)$ — вероятность того, что считывание будет сделано с ошибкой не больше, чем на три наименьших деления шкалы; m_3 — общее число абсолютно правильно выполненных считываний и тех, в которых ошибка не превышает двух наименьших делений.

3. Полученные значения вероятностей безошибочного считывания для различных уровней приведенной погрешности представить в сводной таблице такого вида:

Форма шкалы	Уровни приведенной погрешности			
	$\beta_{\text{пр}} = 0$	$\beta_{\text{пр}} \leq 2\%$	$\beta_{\text{пр}} \leq 4\%$	$\beta_{\text{пр}} \leq 6\%$
Горизонтальная (прямолинейная)				
Вертикальная (прямолинейная)				
Круговая				
Полукруговая (горизонтальная)				

4. Проверить достоверность различий между горизонтальной, вертикальной и круговой шкалами по значениям вероятностей их безошибочного считывания для следующих уровней приведенной погрешности: $P(\beta_{\text{пр}}=0)$ и $P(\beta_{\text{пр}} \leq 4\%)$. Принимая во внимание, что ошибки считывания распределяются по нормальному закону, проверку достоверностей различия осуществить по критерию Стьюдента.

5. Построить на одном графике для всех шкал кумуляты $P=f(\beta_{\text{пр}})$.

На оси ординат откладываются значения вероятности безошибочного считывания, а на оси абсцисс — значения уровней приведенной погрешности ($\beta_{\text{пр}}=0; 2; 4; 6\%$).

II. Во второй серии для каждой формы шкалы данные опыта заносятся в протокол вида

№ отсчета	Форма шкалы		
	A_9	$A_{\text{и}}$	$t_{\text{л}}, \text{с}$
1			
2			
3			
.			
.			
.			
20			

Здесь A_9 и $A_{\text{и}}$ — то же, что и в протоколе первой серии; $t_{\text{л}}$ — время латентного периода сенсоречевой реакции испытуемого при считывании им конкретного показания прибора (с точностью до 0,01 с).

Вычислить для каждой формы шкалы среднюю арифметическую латентного периода сенсоречевой реакции, дисперсию и среднее квадратическое отклонение по формулам:

$$\text{а) } \bar{t}_{\text{л}} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{\text{л}i}}{n}, \quad (6)$$

где $\bar{t}_{\text{л}}$ — средняя арифметическая латентного периода сенсоречевой реакции, с; n — общее число считываний, выполненных со шкалы данной формы (в нашем примере $n=20$); $t_{\text{л}i}$ — i -е значение латентного периода сенсоречевой реакции при считывании испытуемым i -го показания прибора (в нашем примере $i=1, 2, 3, \dots, 20$);

$$\text{б) } \sigma = \sqrt{\frac{(t_{\text{л}i} - \bar{t}_{\text{л}})^2}{n-1}}, \quad (7)$$

где σ — среднее квадратическое отклонение; $\bar{t}_{\text{л}}$, $t_{\text{л}i}$, n — то же, что и в пункте «а».

$$\text{в) } D = \sqrt{\sigma}, \quad (8)$$

где D — дисперсия; σ — среднее квадратическое отклонение.

Можно с достаточной обоснованностью допустить, что распределение времени сенсоречевой реакции при данных условиях

эксперимента будет приближаться к нормальному закону. Тогда расчет среднего квадратического отклонения упрощается и ведется по размаху:

$$\sigma = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{K}, \quad (9)$$

где $t_{\max}$ — максимальное время латентного периода сенсоречевой реакции испытуемого при считывании им показаний прибора со шкалы определенной формы; $t_{\min}$ — соответственно минимальное время латентного периода сенсоречевой реакции испытуемого при считывании им показаний прибора со шкалы той же

Таблица 2

Таблица для определения поправочного коэффициента
в зависимости от числа отсчетов

<i>n</i>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
30	4,09	4,11	4,14	4,16	4,19	4,21	4,24 <i>K</i>	4,26	4,28	4,30
40	4,32	4,34	4,36	4,38	4,40	4,42	4,43	4,45	4,47	4,48
50	4,50	4,51	4,53	4,54	4,56	4,57	4,59	4,60	4,61	4,63
60	4,64	4,65	4,66	4,68	4,69	4,70	4,71	4,72	4,73	4,74
70	4,75	4,77	4,78	4,79	4,80	4,81	4,82	4,83	4,83	4,84
80	4,85	4,85	4,87	4,88	4,89	4,90	4,91	4,91	4,92	4,93
90	4,94	4,95	4,96	4,96	4,97	4,98	4,99	4,99	5,00	5,01
<i>n</i>	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
<i>K(n)</i>	5,02	5,49	5,76	5,94	6,07	6,18	6,28	6,35	6,42	6,48

Примечание. $K(n)$ — коэффициент, определяемый по таблице; n — число наблюдений (опытов).

формы: для расчета среднеквадратического отклонения σ по размаху в зависимости от числа наблюдений, заимствованной нами из работы Р. Н. Бирюкова¹; K — коэффициент, который определяется из табл. 2 (в данном случае в зависимости от общего числа выполненных испытуемым считываний со шкалы той или иной формы).

¹ Бирюков Р. Н. К вопросу о вычислении среднего квадратического отклонения по размаху. — «Гигиена и санитария», 1952, № 7.

Полученные численные значения представить в сводной таблице вида

Форма шкалы	t_d , с	Д	σ
Горизонтальная (прямолинейная)			
Вертикальная (прямолинейная)			
Круговая			
Полукруговая (горизонтальная)			

Проверить по критерию Стьюдента достоверность различий между горизонтальной, вертикальной и круговой шкалами по средним значениям латентного периода сенсоречевой реакции ($\bar{t}_d$).

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

1. На основании обработанных данных проанализировать влияние различных форм шкал на точность и скорость считывания с них показаний.

2. Сопоставить полученные результаты с литературными данными по этому вопросу.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие факторы могут влиять на читаемость контрольно-измерительных приборов?

2. Изложите тахистоскопическую методику исследования читаемости контрольно-измерительных приборов.

3. В чем заключается дифференцированный подход к ошибкам считывания?

ЛИТЕРАТУРА

1. Ломов Б. Ф. Человек и техника. М., 1966. 464 с.
2. Крылов А. А. Влияние формы шкалы на читаемость стрелочных контрольно-измерительных приборов. — В кн.: Проблемы общей и инженерной психологии. Л., 1964, с. 57—62.
3. Никифоров Г. С., Кашин В. К. Дифференцированный подход к ошибкам считывания со шкал различной формы. — В кн.: Надежность и эффективность комплексных систем «человек — техника». Л., 1971, с. 76—77.
4. Зиберт М. М., Никифоров Г. С., Крылов А. А. Лабораторные исследования читаемости индикаторов и применение ЭВМ в инженерно-психологических экспериментах. — В кн.: Методология исследований по инженерной психологии и психологии труда. Часть 2. Л., 1975, с. 89—99.

ЗАНЯТИЕ 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ЧИТАЕМОСТИ ШКАЛЬНЫХ ПРИБОРОВ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Для исследования многофакторных зависимостей в последнее время все чаще используют методы математического планирования эксперимента.

Возможность одновременного варьирования всеми факторами позволяет: а) уменьшить число опытов; б) свести ошибку эксперимента к минимуму; в) упростить обработку полученных данных; г) обеспечить наглядность и сравнимость результатов.

Каждый фактор может принимать некоторое определенное число различных значений, называемых уровнями. Фиксированный набор уровней факторов определяет условия одного из возможных опытов.

Совокупность всех возможных сочетаний, вычисленная по формуле

$$p = m^N,$$

где p — число сочетаний; m — число уровней факторов; N — число факторов, определяет общее число возможных опытов.

Полным факторным экспериментом называется эксперимент, в котором реализуются все возможные сочетания уровней факторов. Полные факторные эксперименты могут обладать свойством ортогональности. При ортогональном планировании факторы в эксперименте являются некоррелированными, и коэффициенты регрессии, которые вычисляются в итоге, определяются независимо друг от друга.

Важным достоинством метода математического планирования эксперимента является его универсальность, пригодность в огромном большинстве областей исследования. В настоящей лабораторной работе этот метод предлагается применить в целях изучения читаемости шкальных приборов.

Цель занятия — произвести сравнительное исследование влияния нескольких факторов на читаемость линейных горизонтальных шкал.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Аппаратура

Тахистоскоп (зеркального типа, с электромеханической за-
слонкой и др.), позволяющий устанавливать короткую продол-
жительность времени экспозиции (0,1с; 0,3с) и свободный
режим (автотемп); электронный миллисекундомер; звуковое
реле.

В основу эксперимента положен ортогональный план 2^3 (три фактора варьируют на двух уровнях, табл. 3). Уровни факторов и интервалы варьирования представлены в табл. 4.

Таблица 3

Матрица планирования полного трехфакторного эксперимента

№ опыта	x_0	Планируемые факторы			x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	у
		x_1	x_2	x_3					
1	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	y_1
2	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	y_2
3	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	y_3
4	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	y_4
5	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	y_5
6	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	y_6
7	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	y_7
8	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	y_8

Таблица 4

Уровни факторов и интервалы варьирования

Наименование фактора	Обозначение фактора	Уровни факторов			Интервал варьирования	Размерность и примечание	Вариант
		-1	+1	0			
Линейные размеры мелких делений	X_1	1	5	3	2	мм	I
		0,5	5	2,75	2,25		II
Линейные размеры горизонтальной шкалы	X_2	50	150	100	50	мм	I и II
„Энтропия“ места показания	X_3	Стрелка справа или слева на шкале	Стрелка посредине шкалы	—	—	Качественный фактор, размерности нет	I и II

Примечание. Суть фактора „энтропии“ места показания состоит в неопределенности места на шкале прибора, где должен быть произведен отсчет.

Эксперимент проводится по полному плану 2^3 с повторением. Все комбинации уровней факторов представлены в табл. 5.

Экспозиционный материал, который следует изготавливать на отдельных листах ватмана, представляет собой изображения прямолинейных горизонтальных шкал с различными характеристиками (согласно табл. 5).

Для проведения эксперимента предлагаются два варианта шкал. Основные типы шкал первого варианта представлены на рис. 3, второго варианта — на рис. 4.

Таблица 5

Сочетание уровней факторов в реальном масштабе
(согласно табл. 3 и 4)

Уровни факторов	$X_2(-)$				$X_2(+)$			
	$X_1(-)$		$X_1(+)$		$X_1(-)$		$X_1(+)$	
$X_3(-)$	0,5(1)	50	5	50	0,5(1)	150	5	150
	5	13	2	10	3	11	8	16
	лев.	прав.	прав.	лев.	лев.	прав.	прав.	лев.
$X_3(+)$	0,5(1)	50	5	50	0,5(1)	150	5	150
	1	9	6	14	7	15	4	12
	на середине		на середине		на середине		на середине	

Примечание. Числа полужирные означают номер опыта. Цифра 1 в скобках — значение нижнего уровня фактора X_1 в первом варианте.

Процедура опыта

Испытуемый находится на расстоянии одного метра от экрана, на котором в определенной последовательности после предупредительного сигнала или речевой команды «Пуск» предъявляется экспозиционный материал. Величину снятого показания испытуемый называет в микрофон. Каждый испытуемый работает с двумя вариантами шкал в одном из следующих режимов:

1. *Свободный режим (автотемп)*. В автотемпе испытуемый сам устанавливает необходимую продолжительность времени экспозиции. Изображение исчезает в результате срабатывания звукового реле. Одновременно с началом ответа выключается и электронный миллисекундомер, включение которого совпадает с моментом освещения экспозиционного поля.

В эксперименте с точностью до 0,01с регистрируется время скрытого периода ответной речевой реакции.

Инструкция испытуемому: «Сейчас на экране после предупредительного сигнала (команды) Вам будут предъявляться разные виды горизонтальных шкал с различными показаниями стрелок.

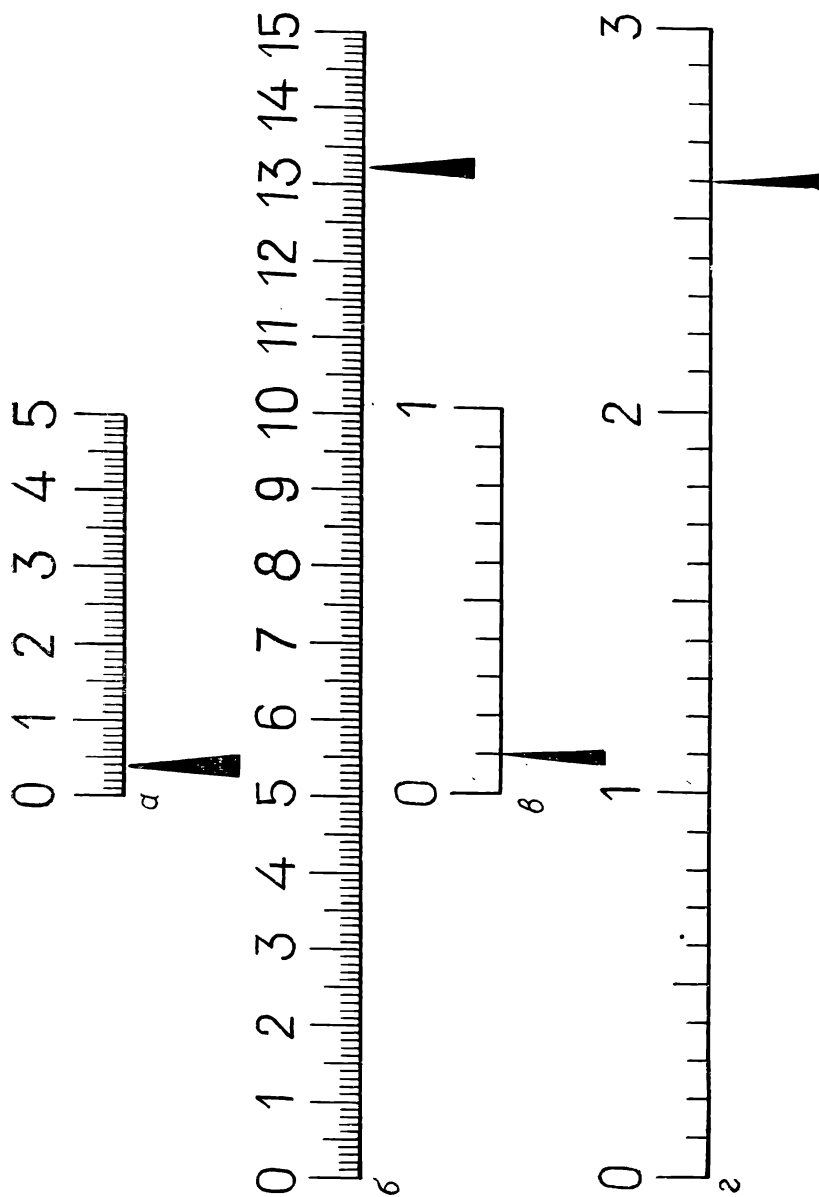


Рис. 3. Типы шкал для опытов варианта I (согласно табл. 5).
 а — шкала, предъявляемая в 5-м опыте; б — шкала, предъявляемая в 11-м опыте; в — шкала, предъявляемая в 10-м опыте; г — шкала, предъявляемая в 8-м опыте.

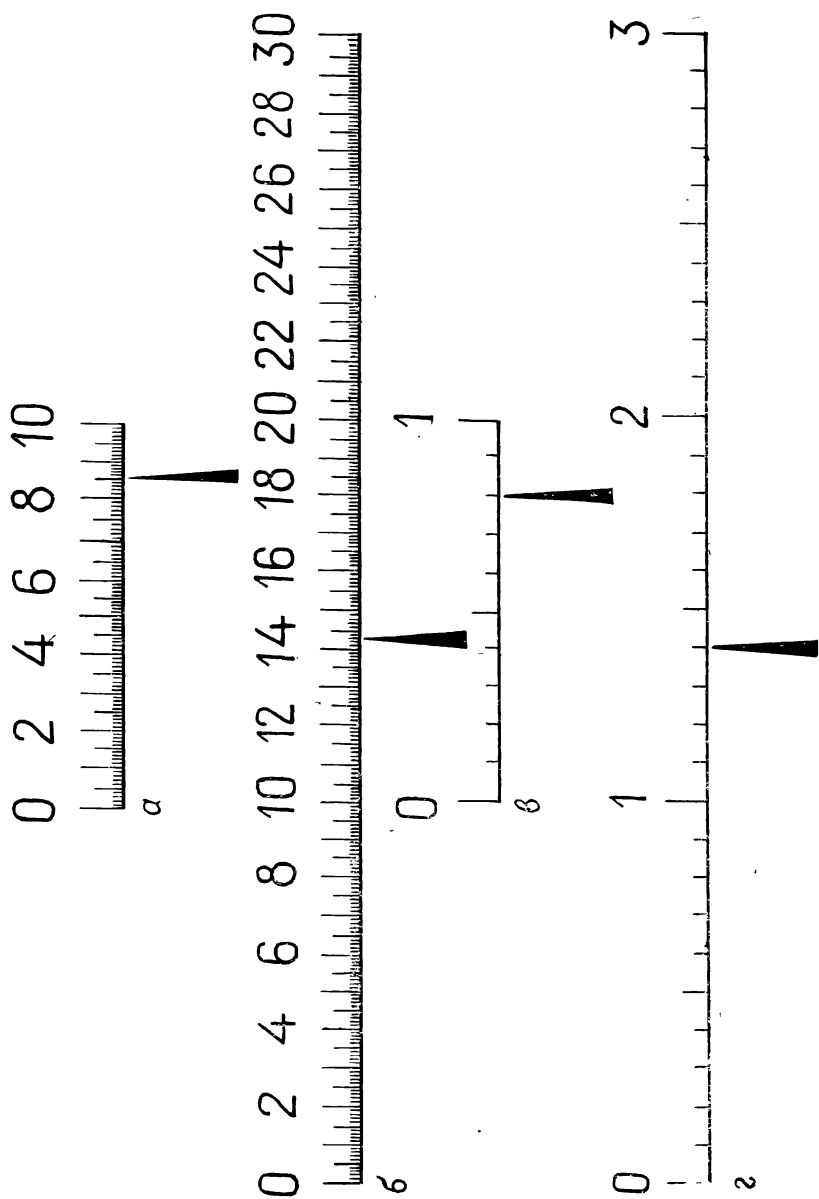


Рис. 4. Типы шкал для опытов варианта II (согласно табл. 5).

а — шкала, предъявляемая в 13-м опыте; *б* — шкала, предъявляемая в 7-м и 15-м опытах; *в* — шкала, предъявляемая в 2-м опыте; *з* — шкала, предъявляемая в 4-м и 12-м опытах.

Время экспозиции не ограничено. Ваша задача считывать показания стрелок с точностью до наименьшего деления».

2. Режим с коротким временем экспозиции (0,1 или 0,3с). Экспериментатор устанавливает нужное время предъявления экспозиционного материала. Испытуемый считывает показания стрелок, руководствуясь инструкцией: «Сейчас на экране после

Таблица 6

Протокол эксперимента

Дата:

Режим:

Испытуемый:

Вариант:

Экспериментатор:

Протоколист:

№ повто- рения	№ опыта	Значение эталона	Испытуемые				И т. д.
			1-й		2-й		
			Показание	Время	Показание	Время	
I	1	(В соответствии с табл. 5)					
	2						
	.						
	.						
	8						
II	9						
	10						
	.						
	.						
	.						
	16						

предупредительного сигнала (команды) Вам будут предъявляться разные виды горизонтальных шкал с различными показаниями стрелок. Время экспозиции 0,1 (0,3)с. Ваша задача считывать показания возможно быстрее и с точностью до наименьшего деления».

Экспериментатор фиксирует в протоколе величину показания, которую назвал испытуемый. Форма протокола представлена, в табл. 6.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Ортогональное планирование предполагает построение уравнения регрессии. Для трех факторов оно выглядит таким образом:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{1,2}X_1X_2 + b_{2,3}X_2X_3 + b_{1,3}X_1X_3 + b_{1,2,3}X_1X_2X_3,$$

где Y — зависимая переменная (время скрытого периода ответной речевой реакции, величина ошибки); b_0 — свободный член,

Таблица 7

Таблица для расчета

j	i	X_0	X_1	X_2	X_3	Y_{ij}	$X_1 \cdot Y$	$X_2 \cdot Y$	$X_3 \cdot Y$	M_i	$Y_{ij} - M_i$	$(Y_{ij} - M_i)^2$
I	1	+	—	—	+							
	2	+	+	—	—							
	3	+	—	+	—							
	4	+	+	+	+							
	5	+	—	—	—							
	6	+	+	—	+							
	7	+	—	+	+							
	8	+	+	+	—							
II	1	+	—	—	+							
	2	+	+	—	—							
	3	+	—	+	—							
	4	+	+	+	+							
	5	+	—	—	—							
	6	+	+	—	+							
	7	+	—	+	+							
	8	+	+	+	—							

Примечание. j — номер повторения плана; i — номер опыта; Y_{ij} — результаты измерения (время, величина ошибки); M_i — среднее арифметическое параллельных опытов.

который характеризует значение наблюдаемой функции при условии, что все аргументы равны нулю; b_1, b_2, b_3 — коэффициенты, которые показывают парциальные влияния отдельных факторов на изучаемую переменную; $b_{1,2}, b_{2,3}, b_{1,3}, b_{1,2,3}$ — коэффициенты, которые показывают, как влияет на успешность поставленной задачи взаимодействие факторов.

Обработка результатов в данном задании включает:

- построение таблицы для расчета (табл. 7);
- вычисление коэффициентов регрессии;
- проверку их значимости;
- интерпретацию полученных данных.

Для любого числа факторов коэффициенты можно вычислить по формуле

$$b_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{ki} Y_i,$$

где $i = \overline{(1, n)}$ — номер опыта; n — число опытов; $k = \overline{(1, l)}$ — номер коэффициента; l — число коэффициентов. В данном эксперименте $n=16$ по каждому из вариантов шкал, $l=4$ (вычисляют коэффициенты b_1, b_2, b_3 и свободный член b_0).

Вычисления коэффициентов сводятся к приписыванию столбцу « Y » знака, соответствующего фактору столбца, и алгебраическому сложению полученных значений. Деление результата на число опытов в матрице планирования дает искомый коэффициент.

Проверка значимости каждого коэффициента проводится независимо. Ее можно осуществить с помощью построения доверительного интервала, который определяется по формуле

$$\Delta b_k = \pm \frac{t_{\alpha, \nu} \sqrt{D_Y}}{\sqrt{n-l}},$$

где $t_{\alpha, \nu}$ — табличное значение критерия Стьюдента при уровне значимости $\alpha=0,05$ и числе степеней свободы $\nu=n-l=12$; D_Y — общая дисперсия зависимостей переменной Y , определяемая уравнением

$$D_Y = \frac{1}{n-l} \sum_{i=1}^n (Y_{ij} - M_i)^2.$$

Если $|b_k| \geq \Delta b_k$, то коэффициент значим, если $|b_k| < \Delta b_k$, то коэффициент незначим.

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ

Величины коэффициентов регрессии — это количественные меры влияния каждого из факторов на изучаемую переменную. Чем больше коэффициент, тем сильнее влияет фактор. О направлении влияния факторов говорят знаки коэффициентов. Знак (+) свидетельствует о том, что с увеличением значения фактора растет величина зависимой переменной, а знак (—) — что она убывает. Факторы, коэффициенты которых незначимы, не интерпретируются. Можно сказать, что при данных интервалах варь-

ирования они не оказывают существенного влияния на изучаемую переменную.

В соответствии с вышеизложенным надо проанализировать полученные результаты. Кроме того, следует: а) сравнить данные, полученные для различных вариантов шкал; б) установить, какой из режимов является наиболее предпочтительным для изучения читаемости шкал с помощью данного метода. Все выводы нужно представить в письменном виде.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем основные преимущества метода математического планирования эксперимента?

2. Какой режим в данной постановке эксперимента дает более информативные результаты?

ЛИТЕРАТУРА

1. Адлер Ю. П., Марков Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М., 1971. 579 с.
2. Налимов В. В. Теория эксперимента. М., 1971. 207 с.

ЗАНЯТИЕ 4. РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ КОМПЛЕКСА «ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРИБОР — ОПЕРАТОР»

ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Ошибки, допускаемые оператором в процессе приема им информации от измерительного прибора, и присущие самому прибору определенные виды отказов определяют в целом эффективность работы всего комплекса, а также одну из ее составляющих — надежность. Вопрос об исследовании надежности работы комплекса «измерительный прибор—оператор» должен ставиться как частный в плане общей проблемы надежности человека-оператора, которая разрабатывается в настоящее время инженерной психологией наряду с другими научными дисциплинами.

Приведем определения основных терминов, которые используются в последующем изложении.

Погрешность измерительного прибора — алгебраическая разность между показанием прибора и действительным значением измеряемой им величины.

Поправка — значение, которое должно быть алгебраически прибавлено к показанию измерительного прибора, чтобы получить действительное значение величины, измеряемой прибором. Поправка численно равна абсолютной погрешности измерительного прибора, взятой с обратным знаком.

Основная погрешность — погрешность прибора, свойственная ему при нормальных условиях применения. Под нормальными условиями применения измерительного прибора понимаются такие, при которых влияющие величины (т. е. физические величины, действующие на данный измерительный прибор, но не являющиеся при этом измеряемыми величинами) имеют нормальное значение или находятся в пределах нормальной области значений. Этот вид погрешности определяется недочетами конструкции прибора, допущенными дефектами при его сборке, трением в опорах подвижной части, неточностью градуировки и вычерчивания шкалы и др.

Дополнительная погрешность — изменения показания измерительного прибора, вызванные изменением одной из влияющих величин. Этот вид погрешности определяется в основном факторами окружающей среды. Самый важный среди них — фактор t° (температура). Он может нарушать калибровку прибора. Изменение температуры может привести к изменению упругости пружин, размеров элемента измерительной системы или к утечкам в системе, к изменению сопротивления элемента электрической цепи, магнитной индукции в магнитном элементе. Среди других факторов окружающей среды, влияющих на точность измерения, можно назвать влажность, барометрическое давление, внешние электрические и магнитные поля.

Допускаемая погрешность — предусмотренная нормами наибольшая погрешность измерительного прибора, при которой он может быть допущен к применению. Допускаемая погрешность может быть выражена как в виде абсолютной, так и в виде относительной или приведенной погрешности.

Точность измерительного прибора — свойство, характеризующее степень приближения показаний измерительного прибора к действительным значениям измеряемой величины. Точность измерительных приборов является главнейшей их характеристикой. По ней приборы делят на классы.

Класс точности измерительного прибора — категория измерительных приборов данного вида, характеризуемая уровнем допускаемой погрешности.

Для характеристики класса точности большинства электроизмерительных приборов пользуются приведенной погрешностью:

$$\beta_{\text{пр}} = \frac{A - A_{\text{д}}}{A_{\text{max}}} \cdot 100\% = \frac{\Delta A}{A_{\text{max}}} \cdot 100\%,$$

где $\beta_{\text{пр}}$ — приведенная погрешность; A — показание прибора; $A_{\text{д}}$ — действительное значение измеряемой величины; $\Delta A = A - A_{\text{д}}$ — абсолютная погрешность; A_{max} — предельное значение измеряемой величины, которое может быть измерено по шкале прибора, или номинальное значение шкалы.

По точности приборы разделяются на классы: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0. Допускаемая погрешность, как отмечалось

выше, может быть в принципе выражена и через относительную погрешность:

$$\beta = \frac{A - A_d}{A_d} \cdot 100\% = \frac{\Delta A}{A_d} \cdot 100\%,$$

где β — относительная погрешность. Все остальные обозначения те же, что и для приведенной погрешности ($\beta_{пр}$). Однако в ГОСТе и технических условиях на приборы нормируется приведенная погрешность ($\beta_{пр}$), а не относительная. Необходимость во введении приведенной погрешности объясняется тем, что даже при постоянстве абсолютной погрешности по всей шкале прибора относительная погрешность по мере уменьшения значений измеряемой величины не остается постоянной, а увеличивается, стремясь к бесконечности.

Отказ является фундаментальным понятием теории надежности комплексных систем человек — техника. Оценка надежности работы оператора окажется невозможной, если предварительно четко не определить, что в ней будет приниматься за отказ.

Под отказом оператора понимается такое его состояние, при котором требуется выполнение функций управления или обслуживания, но человек не может их выполнить ввиду утомления, временной утраты трудоспособности и т. д. Выделяют три типа возможных отказов оператора: временно-неустойчивый, временно-устойчивый и окончательный. Временно-неустойчивый отказ (в применении к техническим средствам такой вид отказа называется сбоем) — это наиболее типичный для оператора психологический тип отказа или ошибка. К отказам типа ошибок могут относиться события, состоящие в неправильном восприятии оператором информации (например, ошибочное считывание показания с прибора), в неправильном принятии решения или неправильной реализации принятого алгоритма действий. Последствия ошибок могут в общем случае проявиться в невозможности дальнейшего применения технических средств или в снижении эффективности их применения.

Мера, посредством которой производится оценка надежности, называется *критерием надежности*. Численное значение того или иного критерия, полученное из опыта и справедливое только для вполне конкретных условий, называется количественной характеристикой или просто характеристикой надежности.

В общем случае расчет надежности комплекса «измерительный прибор — оператор» может быть осуществлен согласно следующим аналитическим зависимостям:

$$P_k(\Delta_k \leq \Delta_d) = P_{н. п.} \cdot P_{б. с.} + \sum_{i=1}^n q_i \cdot P_i,$$

$$Q_k(\Delta_k > \Delta_d) = 1 - P_k(\Delta_k \leq \Delta_d),$$

где Δ_k — итоговая погрешность комплекса (в нее входят погреш-

ности прибора и ошибки оператора при снятии отсчета с прибора); Δ_d — заданная допускаемая погрешность комплекса; $P_k(\Delta_k \leq \Delta_d)$ — надежность комплекса «измерительный прибор — оператор», т. е. вероятность того, что заданная допускаемая погрешность не будет превышена; $Q_k(\Delta_k > \Delta_d)$ — надежность комплекса «измерительный прибор — оператор», т. е. противоположная предыдущей вероятность того, что допускаемая погрешность комплекса будет превышена; $P_{н.п}$ — вероятность безотказной работы измерительного прибора; $P_{б.с}$ — вероятность безошибочного считывания оператором показания прибора; q_i — вероятность отказа прибора i -го типа. Здесь в принципе могут быть рассмотрены вероятности событий, связанных собственно с эксплуатационной ненадежностью прибора, т. е. вероятностью того, что в установленный для прибора срок работы с ним произойдут перемежающиеся (типа сбоев) отказы; вероятность того, что в период эксплуатации прибора он не будет соответствовать своему классу и др.; n — число разновидностей отказов, которые могут быть в общем случае присущи прибору; P_i — условная вероятность безошибочного осуществления оператором i -й стратегии в случае отказа прибора i -го типа. Имеется в виду, что, несмотря на отказ прибора, оператор, выбрав соответствующую стратегию поведения, может добиться того, что итоговая погрешность комплекса будет меньше или равна допускаемой (т. е. $\Delta_k \leq \Delta_d$).

Например, в случае сбоев в работе прибора из-за внезапного и кратковременного воздействия внутреннего фактора (выброс в питающем напряжении, кратковременное нарушение в контактах, отклонение в механической части прибора и т. п.) или внешнего фактора (внезапные перемещения стрелки прибора из-за вибрации или ударного воздействия) стрелка прибора отклоняется от установившегося положения. Однако оператор при этом может не делать отсчет с прибора до тех пор, пока причина сбоя не будет выяснена, устранена и стрелка прибора не займет своего прежнего установившегося положения. В другом случае отказом прибора может явиться случайная или систематическая погрешность, превышающая допускаемую погрешность измерительного прибора. Оператор в принципе может «компенсировать» и такой вид отказа, если он будет знать величину этой погрешности (или в общем случае закон ее изменения) с тем, чтобы учесть ее в окончательном результате измерения.

В том случае, когда прибор работает безотказно (отсутствуют сбои, его метрологические характеристики находятся в допустимых пределах и т. д.), надежность комплекса «измерительный прибор — оператор» будет полностью определяться только вероятностью безошибочного считывания оператором показания прибора: если $q_i = 0$ и соответственно $P_{н.п} = 1$, то

$$P_k(\Delta_k \leq \Delta_d) = P_{б.с.},$$

$$Q_k(\Delta_k > \Delta_d) = 1 - P_{\delta.c} = Q_{o.c},$$

где $Q_{o.c}$ — вероятность ошибочного считывания оператором показания прибора. Тогда расчет надежности комплекса «измерительный прибор — оператор» будет сводиться к определению временных и надежностных характеристик считывания оператором показаний с прибора. Эти характеристики в свою очередь могут зависеть от многих переменных: соответствия индикационной части прибора современным инженерно-психологическим требованиям, состояния оператора, расстояния от глаз оператора до прибора, внешней освещенности и т. п.

МЕТОДИКА

В данной работе предполагается безотказная работа прибора и надежность считывания оператором показаний прибора определяется в зависимости от времени, которым он располагает.

В качестве надежностных критериев в рассмотрение вводятся собственно вероятность безошибочного считывания ($P_{\delta.c}$), а также средняя частота ошибочных считываний (ω) и среднее время работы оператора между двумя соседними ошибочными считываниями, т. е. «наработка на отказ» (t_{cp}). Следует подчеркнуть при этом, что рассчитывать ω , t_{cp} и возможные другие надежностные критерии, используемые традиционно для тех же целей, но в применении к техническим средствам, правомерно только для однородных видов деятельности человека с высокой стереотипностью. К ним можно отнести деятельность машинисток-стенографисток, радиотелеграфистов, линотипистов, операторов радиолокационной станции, операторов, работающих в метрологических службах и занятых проверкой измерительной техники (главная функция проверки состоит в определении основной погрешности измерительного прибора или меры, для чего оператору в течение смены надо снять тысячи показаний).

Такие переменные, как исполнение индикационной части прибора, расстояние до него и освещенность, выбираются в данной работе оптимальными согласно имеющимся в этом плане справочным рекомендациям. Форма шкалы прибора может быть выбрана из следующей их последовательности в порядке предпочтения: круговая, полукруговая и горизонтальная (прямолинейная).

Для проведения занятия необходимо выбрать двух человек, которые по очереди выполняют функции экспериментатора и испытуемого. Экспериментатор последовательно выставляет на приборе показания в случайном порядке согласно заранее составленной и занесенной в протокол программе эксперимента. Перед каждым очередным предъявлением показаний прибора испытуемому дается предупредительный сигнал (либо в словесной форме «Внимание», либо зажиганием сигнальной лампочки

на пульте испытуемого). Экспериментатор записывает в протокол результат сообщенного ему испытуемым отсчета. Испытания проводятся для двух значений времени экспозиции ($t_э$). Например, могут быть взяты $t_э=0,12$ и $t_э=0,8$ с; длительность каждой серии по 30 мин с паузой для отдыха между ними в 10 мин. Если при этом у экспериментатора выставление показания, его предъявление и запись выполненного с него испытуемым отсчета будут занимать, например, 10 с, то тогда общее число предъявлений каждой серии окажется равным 180.

Испытуемый работает с установкой на точность считывания.

Аппаратура. Используется тахистоскоп (например, типа «падающая шторка»).

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Для каждой серии эксперимента (т. е. для $t_э=0,12$ и $t_э=0,8$ с) составляется протокол по следующей форме:

№ отсчета	$A_э$	$A_{п}$	ΔA
1			
2			
3			
.			
.			

Здесь $A_э$ — величина конкретного показания прибора, выставленного экспериментатором; $A_{п}$ — результат считывания, выполненный испытуемым с конкретного показания прибора; $\Delta A = A_э - A_{п}$ — абсолютная погрешность. $\Delta A = 0$ при $A_э = A_{п}$, что соответствует безошибочному считыванию испытуемым показания прибора. В случае ошибки величину вычисленной погрешности мож-

но вносить в протокол без учета ее знака, так как в данном случае важен просто сам факт констатации совершения ошибки при считывании того или иного показания прибора.

1. Рассчитать вероятность безошибочного считывания ($P_{б.с}$) отдельно для $t_э=0,12$ и $t_э=0,8$ с по следующей формуле:

$$P_{б.с} = \frac{m}{N},$$

где m — число правильно выполненных считываний (те случаи, когда $\Delta A = 0$); N — общее число считываний, выполненных испытуемым с прибора при данном времени экспозиции.

Обязательным условием эффективности количественных оценок надежности является их достаточная точность и достоверность. Точность оценок количественных показателей надежности характеризуется шириной доверительного интервала, а достоверность определения показателей надежности — доверительной вероятностью. Поэтому вычисленные по вышеприведенной формуле вероятности безошибочного считывания являются по суще-

ству точечными оценками, и для них следует найти соответствующие доверительные границы по следующим формулам:

$$P_1 = P_{0.с} + t_{\beta} \sqrt{\frac{P_{0.с}(1 - P_{0.с})}{N}},$$

$$P_2 = P_{0.с} - t_{\beta} \sqrt{\frac{P_{0.с}(1 - P_{0.с})}{N}},$$

где P_1 и P_2 — верхняя и нижняя доверительные границы вероятности безошибочного считывания; N — общее число отсчетов, выполненных испытуемым с прибора при данном времени экспозиции; t_{β} принимает определенное численное значение в зависимости от выбранного уровня доверительной вероятности β и может быть взято из таблиц (в данной работе можно выбрать $\beta=0,95$).

2. Проверить по критерию Стьюдента достоверность различий точечных оценок $P_{0.с}$ для $t_3=0,12$ и $t_3=0,8$ с.

3. Рассчитать среднее время работы испытуемого между двумя соседними ошибочными считываниями (наработка на отказ) для $t_3=0,12$ и $t_3=0,8$ с по следующей формуле:

$$t_{ср} = \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n},$$

где n — общее число ошибочных считываний (т. е. отсчеты, для которых $\Delta A=0$) за время работы испытуемого при данном значении t_3 ; t_i — время безошибочной работы испытуемого между $(i-1)$ -м и i -м ошибочным считыванием показания.

Дадим некоторые пояснения к расчету этого критерия. Пусть, например, первая ошибка испытуемого в отсчете произошла при четвертом предъявлении (согласно заданному порядку предъявлений показаний по протоколу), вторая — при двенадцатом, третья — при семнадцатом и т. д. Тогда, допустив, что на организацию каждого предъявления показания экспериментатором затрачивается приблизительно одно и то же время, например 10 с, значения t_1, t_2, t_3 можно сосчитать следующим образом:

$$t_1 = 10 \text{ с} \cdot 4 = 40 \text{ с},$$

$$t_2 = 10 \text{ с} \cdot (12-4) = 10 \text{ с} \cdot 8 = 80 \text{ с},$$

$$t_3 = 10 \text{ с} \cdot (17-12) = 10 \text{ с} \cdot 5 = 50 \text{ с}$$

и т. д.

Найдя аналогичным образом все значения t_i (от t_1 до t_n), можно затем сосчитать и $t_{ср}$ по приведенной для нее выше формуле. Затем следует проверить по критерию Стьюдента достоверность различий между вычисленными наработками на отказ для $t_3=0,12$ и $t_3=0,8$ с.

4. Построить гистограммы средней частоты ошибок считыва-

ния для каждого значения t_0 . Для этого по оси абсцисс откладывается продолжительность опыта, которая произвольно разбивается на ряд равных интервалов времени (Δt). На основании каждого такого временного интервала (Δt) строится прямоугольник с высотой, равной

$$\omega = \frac{n(\Delta t)}{N},$$

где ω — средняя частота ошибок считывания на интервале времени Δt ; N — общее число отсчетов, выполненных испытуемым с прибора на протяжении всего опыта и при данном значении t_0 ; $n(\Delta t)$ — число допущенных испытуемым ошибок при считывании показаний прибора на интервале времени Δt .

Если время каждой серии опыта $t=30$ мин и если задаться при этом значением $\Delta t=3$ мин, то число интервалов Δt на временной оси будет равно 10.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Необходимо проанализировать надежность работы комплекса «измерительный прибор — оператор» по полученным характеристикам вероятности безошибочного считывания, средней частоты ошибок считывания и наработке на отказ в зависимости от времени на считывание показания, которым располагает испытуемый.

Важно также проанализировать гистограммы средней частоты ошибок считывания с целью установления характера динамики допускаемых испытуемым ошибок на протяжении опыта. При этом нужно обратить внимание на возможность фазы врабатываемости, для которой характерны постепенное снижение средней частоты ошибок испытуемого и их дальнейшая стабилизация на некотором постоянном уровне.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие виды погрешностей измерительного прибора Вы знаете? Что такое точность и класс точности измерительного прибора?
2. Раскройте содержание основных понятий теории надежности в применении к человеку.
3. С помощью каких критериев может оцениваться надежность приема человеком информации от измерительного прибора?
4. Изложите методику расчета надежности комплекса «измерительный прибор — оператор».

ЛИТЕРАТУРА

1. Никифоров Г. С. Теория надежности в изучении деятельности человека. — В кн.: Методология исследований по инженерной психологии и психологии труда. Часть 1. Л., 1974, с. 70—80.

2. Губинский А. И. Надежность и эффективность комплекса «система контроля — человек». — В кн.: Инженерная психология в приборостроении. М., 1967, с. 131—139.

3. Никифоров Г. С. Проблема надежности комплекса «измерительный прибор — оператор». — Вестник Ленингр. ун-та, 1970, №11, с. 87—91.

ЗАНЯТИЕ 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИТАЕМОСТИ СВЕТОДИОДНОГО ПРОФИЛЬНОГО ИНДИКАТОРА С ВЕРТИКАЛЬНОЙ ШКАЛОЙ В УСЛОВИЯХ РАЗЛИЧНОЙ ВНЕШНЕЙ ОСВЕЩЕННОСТИ

В последние годы все большее распространение получают системы отображения информации (СОИ), выполненные на основе техники плазменной индикации, на жидких кристаллах, на светодиодах. Особенно перспективно при создании новых типов индикаторов применение светодиодов. Индикационные устройства на светодиодах имеют ряд преимуществ перед другими средствами отображения. К ним относятся:

- высокая надежность и долговечность;
- механическая прочность;
- малые габариты и вес;
- высокое быстродействие;
- относительно небольшая потребляемая энергия;
- возможность эффективного использования ЭВМ для управления;
- устойчивость к воздействию температур в широком диапазоне;
- простота в управлении.

Светодиоды успешно применяются для создания таких традиционных индикаторов, как шкалы. Несмотря на то, что использование шкал имеет тысячелетнюю историю, они продолжают успешно применяться в различных СОИ. На большие до конца еще не раскрытые возможности применения шкальных индикаторов указывает тот факт, что даже индикаторы с вертикальной шкалой, считающиеся наименее эффективными среди шкальных индикаторов, если их правильно компоновать на индикационной панели, могут оказаться эффективнее любых других шкальных индикаторов. Так, 32 круглошкальных индикатора, которые прежде использовались для управления двигательной установки самолета, с успехом были заменены 10 индикаторами с вертикальными шкалами [1].

Светодиодный профильный индикатор представляет собой вертикальную шкалу, состоящую из набора светодиодных элементов, каждый из которых при подаче на него напряжения светится красным светом (760 нм) яркостью 70 кд/мм². Величине отображаемого параметра соответствует высота светящегося

столбца индикатора, которая может быть точно оценена соотношением с градуировкой шкалы, имеющей оцифрованные и неоцифрованные деления.

Известно, что процесс приема информации человеком-оператором реализуется как чтение показаний индикатора. В зависимости от того, какой тип принятия решения обеспечивается на основании принятой человеком информации, различаются контрольное, качественное и количественное чтения показаний. Количественное чтение показаний шкальных приборов обеспечивает те типы принятия решений, которые связаны с оперированием числовыми значениями параметров. Этот вид чтения может осуществляться по тем индикаторам, которые отображают состояние параметра цифровыми знаками или положением отметок шкалы относительно указателя. При этом различают читаемость формальную и смысловую. Под формальной читаемостью прибора следует понимать совокупность тех свойств индикационной части, которая определяет скорость и точность зрительного восприятия показаний в данных условиях. К параметрам видимости, определяющим формальную читаемость, относятся:

- пространственное положение относительно наблюдателя;
- угловой размер;
- яркость и яркостный контраст;
- время действия на рецептор;
- цвет и цветовой контраст.

Одним из основных факторов, определяющих читаемость индикатора, является яркость и яркостный контраст, который зависит не только от яркости индикатора, но и от внешней освещенности. Умение оценить читаемость индикатора в зависимости от внешней освещенности позволяет решать вопрос о возможности его использования в тех или иных условиях.

Цель занятия — на основе сопоставительного анализа скорости и точности считывания показаний профильного светодиодного индикатора дать (сделать) заключение о его читаемости в условиях различной внешней освещенности.

Объект: профильный светодиодный индикатор с вертикальной шкалой (или его модель).

МЕТОДИКА

Аппаратура

Для исследования применяется экспериментальная установка, состоящая из светодиодного профильного индикатора с вертикальной шкалой, задающего устройства (блока управления), блока регистрации ответов испытуемого. Светодиодный профильный индикатор представляет собой вертикально расположенный набор из 25 светодиодных элементов-модулей, каждый из которых состоит из пяти светодиодов размеров $0,8 \times 2,5$ мм. Расстоя-

ние между светодиодами составляет 0,2 мм. При подаче тока светодиоды светятся красным светом яркостью 70 кд/мм². Справа от светодиодного профиля находится цифровая шкала с отметками, выполненными в обратном контрасте, с ценой деления—1. Светодиодный прочильный индикатор показан на рис. 5.

Блок управления состоит из набора переключателей, устанавливающих для включения заданное количество светодиодов снизу вверх. Пусковое устройство подает напряжение на выбранные светодиоды. Таким образом, предъядвляется вертикальный светящийся столбик заданной величины, соответствующий величине отображаемого параметра. Блок управления позволяет варьировать яркость и длительность свечения светодиодов. *Блок регистрации ответов* испытуемого состоит из звукового реле или самописца типа Н 20-1, включающегося при зажигании светодиодов и фиксирующего время латентного периода сенсоречевой реакции при считывании показаний индикатора с помощью электросекундомера. Блок-схема установки показана на рис. 6.

Процедура эксперимента

Экспериментатор набирает с помощью блока управления выбранные предварительно параметры отображения соответственно предварительно составленной программе, подает испытуе-

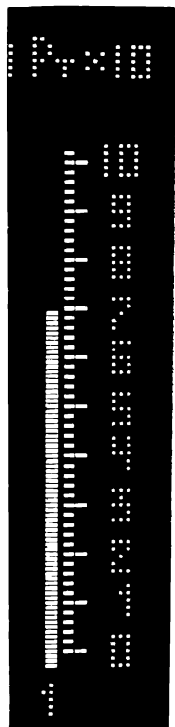


Рис. 5. Внешний вид светодиодного профильного индикатора с вертикальной шкалой.

мому команду «Внимание», нажатием кнопки пуска включает индикатор и регистрирующее устройство. Испытуемый как можно скорее и точнее считывает вслух показания индикатора, которые сопоставляются экспериментатором с программой. В протоколе эксперимента экспериментатор отмечает время латентного периода сенсоречевой реакции считывания показаний и величину ошибки считывания, если таковая имеет место.

Проводится несколько серий эксперимента при внешней освещенности 70, 500, 2500, 5000, 10 000 лк. Время предъядвления показаний индикатора не ограничивается.¹ Время между отдельны-

¹ На данной установке могут выполняться сравнительные исследования читаемости показаний светодиодного профильного индикатора с вертикальной шкалой не только в условиях различной внешней освещенности, но и в условиях различной длительности предъядвления показаний индикатора и при различных яркостях и цветности его свечения.

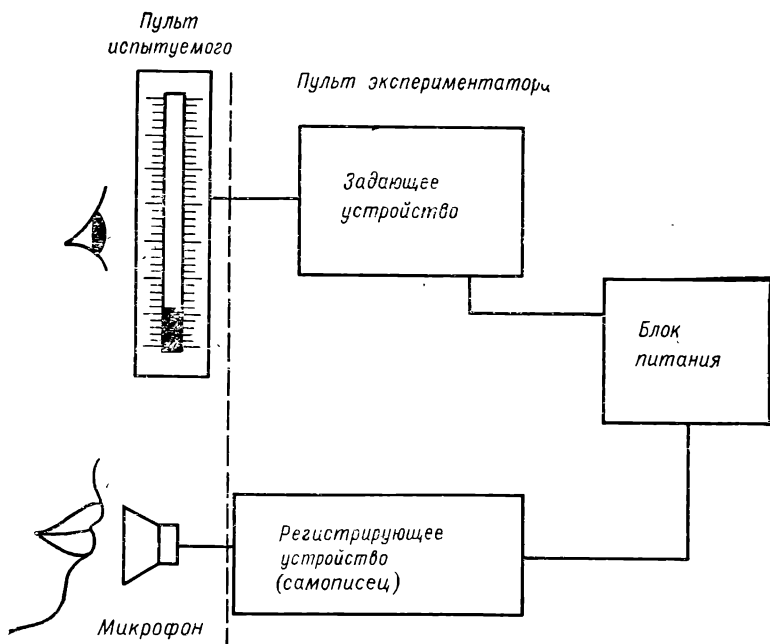


Рис. 6. Блок-схема экспериментальной установки для определения читаемости светодиодного профильного индикатора с вертикальной шкалой.

ми предъявлениями — 7—10 с. Число предъявлений в каждой серии не менее 100.

Испытуемые должны обладать нормальным или скорректированным зрением. Группа испытуемых должна быть подобрана с учетом возрастных и половых особенностей.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Обработка производится методами вариационной статистики с использованием параметрических и непараметрических критериев. Полученные данные представляются в виде таблиц или графиков.

Результаты работы оформляются протоколом, в котором содержатся следующие разделы:

I. Общая характеристика прибора с описанием его технических параметров (размеры, яркость свечения, величины отметок и оцифровки).

II. Результаты работы по каждой серии экспериментов, их сопоставление между собой и с известными в литературе данными, обсуждение результатов сопоставления.

III. Формулы и вычисления с пояснениями.

IV. Выводы и общее заключение.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Чем обусловлено различие времени и точности считывания показаний профильного светодиодного индикатора при различных уровнях внешней освещенности?
2. Каковы пути оптимизации процесса считывания показаний профильного светодиодного индикатора?
3. Где возможно и целесообразно применение профильных светодиодных индикаторов с вертикальной шкалой?

ЛИТЕРАТУРА

1. Вудсон У., Коновер Д. Справочник по инженерной психологии для инженеров и художников-конструкторов. Пер. с англ. М., 1968. 518 с.
2. Крылов А. А. Человек в автоматизированных системах управления. Л., 1972. 192 с.
3. Ломов Б. Ф. Человек и техника. М., 1966. 464 с.
4. Саксон Р. Газоразрядный индикатор в виде столбцовой диаграммы.— «Электроника», 1974, № 5, с. 24—31.

ЗНАКОВАЯ ФОРМА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

ЗАНЯТИЕ 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕКТИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРАФИЧЕСКИХ ЗНАКОВ

Графический знак — одна из основных форм представления визуальной информации человеку. Знак может выполнять гностическую, регулирующую и другие функции. Он может привлекать внимание, восприниматься, опознаваться, декодироваться, запоминаться, вызывать ассоциации и определенные эмоциональные реакции. Все эти психические процессы, их эффективность в значительной степени зависят от объективных характеристик графического знака. Объективные характеристики знаков могут классифицироваться по различным основаниям. В частности, можно выделить топологические, метрические и групповые характеристики знаков, положив в их основу различные виды отношений между элементами знака. Знаки могут быть одиночными или входить в конечные или бесконечные алфавиты. Целесообразно изучать объективные характеристики не только отдельных знаков, но и целых алфавитов и конечных выборок из бесконечных алфавитов, так как знаки часто воспринимаются группами или последовательно, друг за другом. Изучение параметров распределения объективных характеристик знаков данной выборки (данного класса) позволяет установить оптимальные для данного класса значения таких характеристик. Знание оптимальных и граничных характеристик знаков может быть использовано при проектировании новых систем знаков, а также для сравнительной оценки уже имеющихся знаковых систем.

Приведем некоторые топологические, метрические и групповые характеристики знаков, сведения о которых требуются при выполнении данной работы. Будем рассматривать только ахроматические двуградационные (черно-белые) знаки: черные области знака на белом фоне. Те названия характеристик, которые не совпадают по смыслу с соответствующими математическими понятиями, взяты в кавычки.

Топологические характеристики. 1) «*Тип связности*» — качественная характеристика связности. По этой характеристике знаки делятся на односвязные и квазисвязные (см. *а, б, в* на рис. 7). Знак будем считать квазисвязным, если наименьшее расстояние между двумя областями знака не превосходит наибольшего размера этих областей ($mn < pq$, см. *в* на рис. 7). 2) «*Порядок связности*» — количественная характеристика связности. Порядок связности характеризуется числом

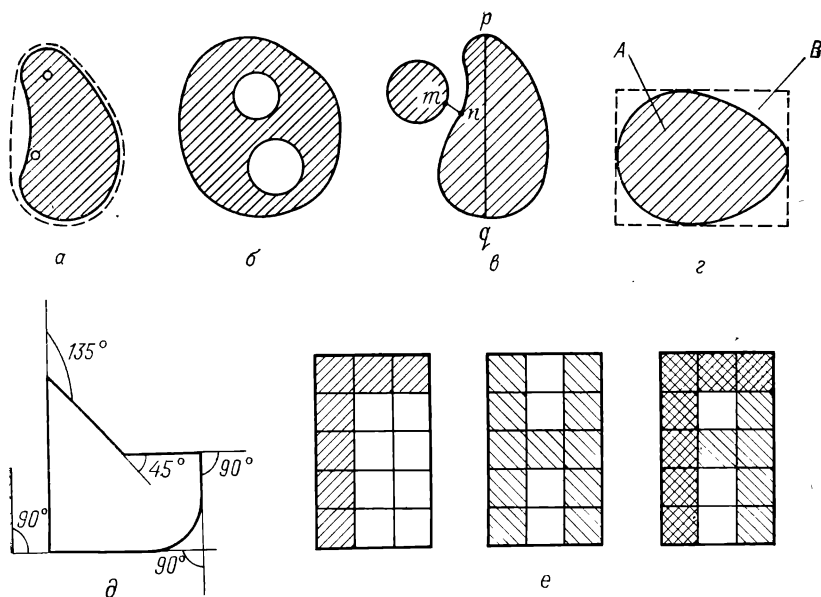


Рис. 7. К определению топологических и метрических характеристик знаков.

Объяснения в тексте

простых контуров знака, отделяющих черные области знака от фона. Простой контур — это неветвящаяся замкнутая линия. Для знаков, использованных в данной работе, все контуры простые. Порядок связности знаков на рис 7, *а, б, в* равен 1, 3 и 2 соответственно. 3) «*Выпуклость*». Будем называть огибающей знака линию, подобную резиновой нити, обтягивающей знак (штриховая линия на рис. 7, *а*). Знак будет выпуклым, если все точки огибающей совпадут с одним из контуров знака. Знак на рис. 7, *б* — выпуклый, на рис. *в* — невыпуклый.

Метрические характеристики. 1) *Оптическая плотность (P)*. Назовем эффективной площадью знака площадь наименьшего прямоугольника, описанного около знака (*г* на рис. 7). Тогда

оптическая плотность будет равна отношению суммарной площади черных областей знака (А) к эффективной площади знака (В): $P=A/B$. Оптическая плотность — безразмерная величина. Ее значения лежат в пределах от нуля до единицы. 2) *Контурная плотность (К)* — отношение квадрата суммарной длины всех контуров знака (С) к эффективной площади знака (В): $K=C/B$. Контурная плотность — также безразмерная величина. 3) *Суммарная величина изменений направления линии контуров знака (Ф)*. Она получается путем суммирования абсолютных приращений угла наклона касательной к линии контура при его обходе по часовой стрелке. На рис. 7, д приведен пример определения величины Φ . Для этого знака $\Phi=450^\circ=2,5\pi$. 4) *Расстояние между знаками (Х)*. Часто знаки одного и того же алфавита имеют равновеликие эффективные площади. Для таких знаков можно использовать понятие расстояния между знаками, аналогичное понятию расстояния между равномерными кодами по Хеммингу. Величина X есть отношение суммарной площади несовпадающих областей двух знаков к величине эффективной площади знака. Расстояние между знаками — безразмерная величина. Ее значения лежат в интервале от нуля до единицы. Особенно просто эта величина вычисляется при мозаичном представлении знаков. На рис. 7, е приведен пример определения величины X . Расстояние между знаками «Г» и «Н» на этом рисунке равно 0,4.

Групповые характеристики. 1) *Вид симметрии*: по виду симметрии знаки делятся на асимметричные и симметричные. Симметричные знаки могут иметь или ось симметрии, или центр симметрии. Ось симметрии может быть горизонтальной или вертикальной. 2) Для центрально-симметричных знаков может быть указан *порядок симметрии*, численно равный числу осей симметрии.

Задание

Цель работы — познакомиться с основными объективными характеристиками графических знаков и научиться их определять.

Методика. Все характеристики знаков получаются путем их качественного анализа и прямого измерения элементов знака. Вычисления производятся по приведенным выше формулам. Измерения производятся измерителем, масштабной линейкой и транспортиром. Для вычислений используются любые имеющиеся вычислительные средства.

Экспериментальный материал. В качестве экспериментального материала используются знаки из конечных алфавитов и наборов: алфавиты букв, наборы товарных, дорожных, указательных знаков и т. п. Каждый знак вычерчивается на отдельной карточке и хранится в знакотеке. Размеры знака на карточке

ке должны быть выбраны таким образом, чтобы обеспечить удобство и достаточную точность измерения.

Порядок выполнения работы. Все знаки двух-трех алфавитов или выборки распределяются между студентами учебной группы. Каждый студент определяет все перечисленные характеристики полученных им знаков. Результаты заносятся в протокол следующего образца:

Знаки	Характеристики		
	топологические	метрические	групповые
	„Тип связности“ „Порядок связности“ „Выпуклость“	РКФХ	Вид симметрии Порядок симметрии

После заполнения протоколов всеми студентами на основе коллективных результатов строятся гистограммы порядка связности, оптической плотности, контурной плотности и суммарной величины изменений направлений контурных линий знака для каждого алфавита или выборки отдельно. Отдельно для каждого алфавита и выборки вычисляются также процентные соотношения знаков в выборке по характеристикам «тип связности», «выпуклость», «вид симметрии». На основании обработанных таким образом результатов следует ответить на следующие вопросы: 1) Какие из характеристик знаков имеют одновершинные распределения? 2) Какие значения характеристик соответствуют вершинам распределений? 3) Для каких алфавитов или выборки значения характеристик, соответствующих вершинам распределений, оказываются близкими? 4) Для каких алфавитов и выборки оказываются близкими процентные соотношения знаков в выборках по характеристикам «тип связности», «выпуклость» и «вид симметрии»? 5) Какие из полученных характеристик оказались наиболее стабильными? наиболее вариативными?

ЗА Н Я Т И Е 7. ОЦЕНКА АЛФАВИТОВ ЗНАКОВ ДЛЯ КОДИРОВАНИЯ ВИЗУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Высокая эффективность выполнения операций зрительного поиска, обнаружения, идентификации и опознания сигналов существенно зависит от способа кодирования поступающей к человеку информации. Эргономическая оценка способов кодирования алфавитов кодовых знаков проводится по независимым па-

раметрам категории кода, длины алфавита и уровня кодирования.

Под *категорией кода* понимается самостоятельный способ кодирования условными знаками, буквами, цифрами, цветом, яркостью, размером фигур и т. п.

Под *длиной алфавита* понимается число знаков в наборе, используемом для передачи сообщения. Существенным ограничением длины алфавита одномерных сигналов для передачи

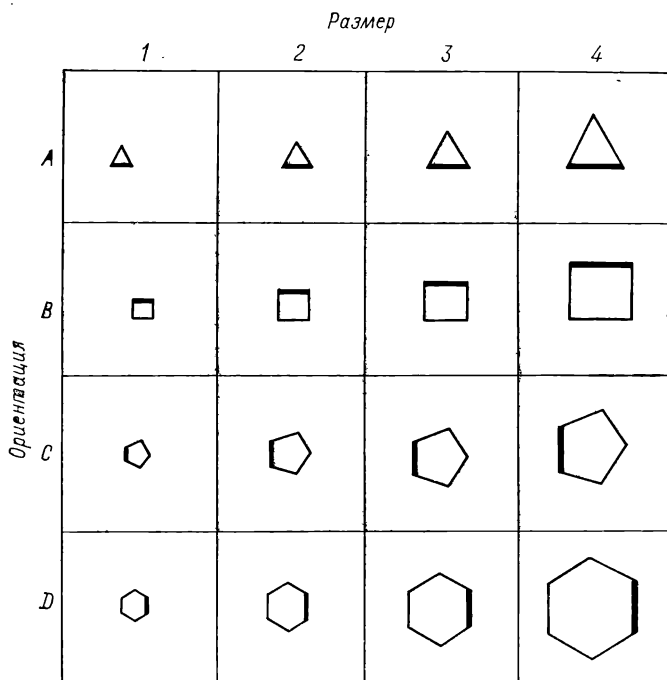


Рис. 8. Алфавит знаков, использованных в занятии.

информации человеку является различительная чувствительность анализаторов. Оптимальные условия различения создаются лишь в случае, если различие между двумя одномерными сигналами превышает пороговую величину в несколько раз ($4 \div 16$ в зависимости от качества используемого признака). Допустимая длина алфавита должна определяться экспериментальным путем для каждой кодовой категории.

Под *уровнем кодирования* понимается мерность кода.

Многомерное кодирование предполагает использование одновременно нескольких признаков (например, формы и размера; формы, яркости и цвета и т. п.). Допустимая мерность кода

и оптимальные сочетания различных кодовых категорий внутри многомерного кода определяются экспериментально.

МЕТОДИКА

Алфавит включает в себя знаки — геометрические фигуры. При построении алфавитов использованы четыре категории кодирования: форма, размер, пространственная ориентация фигуры и цвет; длина алфавита для каждой из категорий равна четырем знакам (рис. 8).

Форма. Используются четыре геометрические фигуры: треугольник, квадрат, пятиугольник и шестиугольник.

Размер. Каждая из фигур применяется в четырех размерах (1, 2, 3, 4). Шкала размеров строится по логарифмической зависимости с модулем 1,5.

Пространственная ориентация. Признаком пространственной ориентации является положение утолщенной линии контура относительно горизонтальной или вертикальной оси. Для кодирования признака пространственной ориентации использованы буквенные обозначения: *A, B, C, D*. Положения *A* и *B* являются зеркальными относительно горизонтальной оси, положения *C* и *D* — зеркальными относительно вертикальной оси.

Цвет. Применяются четыре варианта цвета фигур: красный, синий, зеленый и черный.

Используются три двумерных алфавита, сочетающих категории формы — размера (ФР), формы — ориентации (ФО) и формы — цвета (ФЦ). Длина любого из этих алфавитов составляет $4 \times 4 = 16$ знаков. При построении трехмерных алфавитов использованы сочетания категорий формы — размера — ориентации (ФРО), формы — размера — цвета (ФРЦ) и формы — ориентации — цвета (ФОЦ). Длина трехмерных алфавитов составляет $4 \times 4 \times 4 = 64$ знака. Наконец, четырехмерный алфавит составлен на основании сочетания категорий формы — размера — ориентации и цвета (ФРОЦ), его длина $4 \times 4 \times 4 \times 4 = 256$ знаков.

Все варианты знаков оформляются на диапозитивах (пленке) и предъявляются с помощью двухканального электронного тахистоскопа. Сигналы предъявляются испытуемому по одному в случайном порядке при времени экспозиции 50 мс. Вслед за экспозицией сигнала дается светлое послеекспозиционное поле. Задача испытуемого состоит в опознании предъявленного сигнала по заданному комплексу параметров (форме — размеру или форме — размеру — цвету и т. п.). Ответ дается в речевой форме (например, «квадрат второй» или «треугольник третий синий»). В ходе эксперимента регистрируются ответы испытуемого и значения латентного периода сенсоречевой реакции. На одном занятии должно быть экспонировано 30 знаков каждого алфавита (всего 210).

Инструкция испытуемому: «По сигналу „Внимание“ на экране тахистоскопа Вам будет предъявлен знак. Ваша задача со-

стоит в том, чтобы опознать знак и назвать его». Перед началом занятия необходимо ознакомиться с алфавитом сигналов и произвести тренировочные пробы на опознание.

Занятие протоколируется по следующей форме:

Дата:

Испытуемый:

Время опыта:

Экспериментатор:

№	Алфавит	Предъявленный сигнал	Латентный период реакции, с	Ответ испытуемого	Примечание
1	ФР				
2	.				
3	.				
.	.				
210	ФРОЦ				

Словесный отчет испытуемого:

Наблюдения экспериментатора

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

В результате эксперимента предполагается:

1) установить частоту правильного опознания двумерных, трехмерных и четырехмерных сигналов при использовании различных сочетаний кодовых категорий;

2) найти среднее значение и среднее квадратическое отклонение латентного периода реакции испытуемого при работе с различными многомерными алфавитами;

3) проверить распределение эмпирических данных по критерию χ^2 и определить значимость различий в точности и времени опознания при работе с различными многомерными алфавитами, используя в зависимости от результатов проверки t -критерий Стьюдента — Фишера или λ -критерий Колмогорова — Смирнова.

Результаты обработки данных по точности опознания многомерных сигналов представить в таблице:

Алфавиты	Частота правильных ответов для категорий				
	формы	размера	ориентации	цвета	М
ФР					
ФО					
ФЦ					
ФРО					
ФРЦ					
ФОЦ					
ФРОЦ					

Результаты обработки данных по времени опознания многомерных сигналов представить в таблице:

Алфавиты	Латентный период реакции, с	Вариативность времени реакции, %
ФР		
ФО		
ФЦ		
ФРО		
ФРЦ		
ФОЦ		
ФРОЦ		

Составить сводную таблицу данных по эффективности опознания многомерных зрительных сигналов:

Сигналы	Показатели эффективности опознания		Вариативность времени реакции, %
	Частота прав. отв.	Латентный период реакции, с	
Двумерные			
Трехмерные			
Четырехмерные			

На основании результатов обработки данных по опознанию многомерных сигналов дать заключение о зависимости эффективности процесса опознания от особенностей алфавитов знаков, значимости отдельных категорий кода в алфавитах и о целесообразности использования многомерного кодирования для передачи визуальной информации человеку-оператору.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие факторы следует учитывать при выборе способа кодирования информации?
2. Какие факторы следует учитывать при выборе категории кодирования визуальной информации?
3. Как должна определяться допустимая длина алфавитов сигналов?

ЛИТЕРАТУРА

1. Зинченко Т. П. Оценка эффективности кодирования информации.— В кн.: Эргономика. Принципы и рекомендации. Вып. 4. М., 1972, с. 39—58.
2. Инженерно-психологические требования к системам управления. М., 1967. 263 с.
3. Ломов Б. Ф. Человек и техника. М., 1966. 464 с.
4. Суходольский Г. В. Основы математической статистики для психологов. Л., 1972. 429 с.
5. Хитт У. Д. Оценка пяти абстрактных методов кодирования. — В кн.: Инженерная психология. М., 1964, с. 372—389.

ЗАНЯТИЕ 8. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЧИТАЕМОСТИ ЦЕЛЫХ И ФРАГМЕНТАРНО ОТОБРАЖАЕ- МЫХ ЗНАКОВ

Ситуации, когда человеку-оператору приходится опознавать знаки по их фрагментарным изображениям, могут возникать при выходе из строя отдельных индикационных элементов всевозможных систем отображения информации (СОИ). Например, водители автотранспорта вынуждены подчас считывать показания указателей скорости — уличных световых табло, воспринимая фрагментарные изображения цифровых знаков из-за выхода из строя отдельных светящихся элементов табло. Поэтому умение оценить читаемость знаков при их фрагментарном отображении представляет значительный интерес как в теоретическом отношении, с точки зрения понимания процесса восстановления человеком утраченной информации и использования различных опознавательных признаков, так и в практическом, с позиций оценки надежности новейших СОИ и разработки инженерно-психологических принципов проектирования опознаваемых знаков для различных СОИ.

Известно немало работ, специально посвященных опoznанию знаков, в которых показано, что знаки, состоящие из прямых линий, опознаются быстрее и точнее, чем знаки, состоящие из криволинейных элементов; асимметричные знаки опознаются быстрее, чем симметричные; слова с преобладанием вертикальных линий в буквах опознаются легче; знаки в прямом контрасте опознаются лучше, чем в обратном; разные цифры опознаются не одинаково точно [1]. В ряде работ, посвященных разработке визуальных СОИ, выдвигаются инженерно-психологические требования, предъявляемые к знакам, индицируемым СОИ [2, 3].

Цель занятия — выявить различия времени опознавания (по латентному периоду сенсоречевой реакции) знаков, индицируемых СОИ с матрицей 5×7 элементов, при отображении целых и фрагментарно-отображенных знаков (цифр).

МЕТОДИКА

Исследование проводится на установке, позволяющей путем набора комбинаций включенных и выключенных светодиодов (элементов матрицы 5×7) предъявлять на светодиодной матрице 5×7 элементов изображения целых и фрагментарных знаков. Установка позволяет варьировать продолжительность предъявления изображений в пределах от 50 до 10 000 мс, плавно менять яркость изображения. Цвет свечения светодиодов — красный

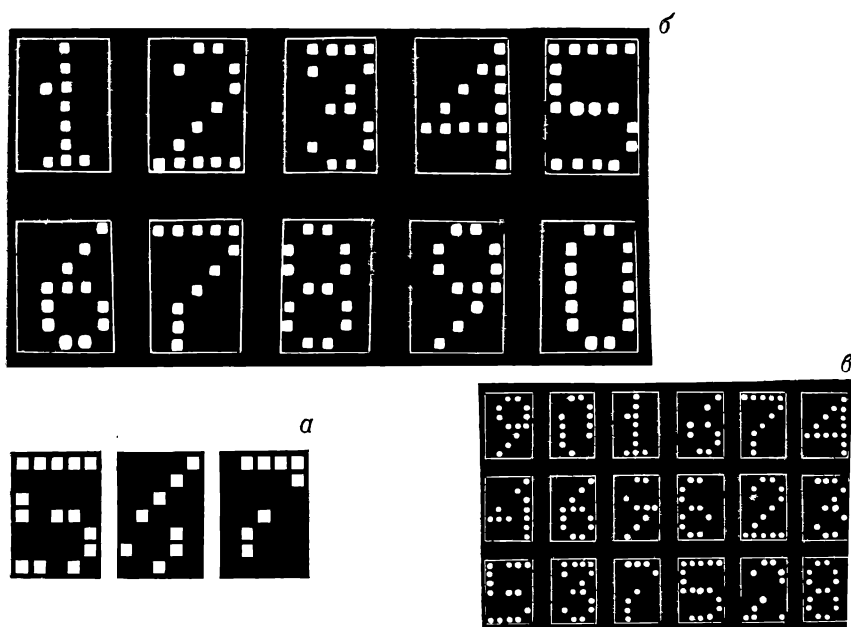


Рис. 9. Программа экспериментального отображения целых и фрагментарно расположенных цифр.

а — пример фрагментарно отображенных цифр; *б* — цифры, хорошо опознаваемые по фрагментарному (без трех элементов) отображению; *в* — вариант программы.

(760 нм). Применяющееся в установке звуковое реле, фиксирующее начало сенсоречевой реакции, и миллисекундомер позволяют с точностью до 10 мс фиксировать ответы испытуемых. Вместо установки, выполненной с применением светодиодной техники, может быть создана аналогичная установка с использованием для высвечивания знаков любых других светоизлучающих элементов, собранных в матрицу 5×7 элементов. Матрица 5×7 элементов широко применяется в современных СОИ различного назначения для индикации знаков.

Условия эксперимента (факторы, влияющие на процесс опознания): угол зрения — 40° ; угол наблюдения — 0° ; яркость свечения индикатора — 50 кд/м^2 ; время экспозиции — 200 мс ; яркость внешней засветки — 200 лк . Три последних параметра могут варьироваться в отдельных сериях экспериментов. Голова испытуемого должна фиксироваться на расстоянии, обеспечивающем требуемый угол наблюдения.

Тест-объекты: цифры специального начертания (разработка Ю. А. Симоненко), отображаемые в матрице 5×7 . В программу экспериментального отображения входят расположенные в случайном порядке целые цифры и цифры, отображенные фрагментарно (рис. 9).

Процедура эксперимента. Экспериментатор набором соответствующих клавишей на панели управления светодиодной матрицей 5×7 создает в соответствии с программой отображения комбинацию из замкнутых и незамкнутых светодиодов, соответствующую определенному тест-объекту. После сигнала «Внимание», поданного экспериментатором, испытуемому предъявляется тест-объект. Испытуемый как можно быстрее и точнее опознает тест-объект и называет его вслух. Время латентного периода сенсоречевой реакции фиксируется при этом с помощью миллисекундомера. Ввиду того, что экспериментальная установка позволяет варьировать время предъявления изображения и его яркость, могут быть проведены специальные серии экспериментов по оценке читаемости целых и фрагментарно отображенных знаков в условиях различной яркости и длительности их предъявления.

Группы испытуемых составляются с учетом возрастных различий, пола и остроты зрения испытуемых.

Полученные в эксперименте данные о времени сенсоречевых реакций при опознании целостных и фрагментарных изображений знаков обрабатываются по правилам вариационной статистики и оформляются в виде таблиц, графиков и т. п. Результаты эксперимента сопоставляются с известными в инженерной психологии данными об опознании знаков, и выявленные случаи соответствия или несоответствия анализируются с целью раскрытия психофизиологических механизмов процесса опознания визуальных сигналов в различных условиях.

В заключение проведенной работы кратко формулируются основные положения об особенностях опознания человеком цифровых знаков, отображенных целостно и фрагментарно. Материалы задания оформляются в виде протокола.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каковы пути обеспечения точности чтения знаков с учетом возможности отказов отдельных элементов СОИ?

ЛИТЕРАТУРА

1. Ломов Б. Ф. Человек и техника. М., 1966. 464 с.
2. Симоненко Ю. А. Некоторые инженерно-психологические принципы проектирования знаков для дисплеев. — В кн.: Всесоюзная конференция «Управляющие и измерительные системы». Киев, 1972, с. 53.
3. Симоненко Ю. А., Вердиш Э. С., Долганов В. В. Установка для исследования человеком кратковременно предъявляемых стимулов. — Вестник Ленингр. ун-та, 1974, № 17, с. 133—135.

ЗАНЯТИЕ 9. ОЦЕНКА ИНФОРМАТИВНОСТИ ПРИЗНАКОВ РАЗЛИЧНЫХ ЗНАКОВЫХ СИСТЕМ

Одной из важнейших задач инженерной психологии является оценка конфигураций символов с целью оптимизации алфавитов знаков, используемых в современных устройствах отображения со знаковыми информационными моделями. В настоящее время довольно широко применяются знаковосинтезирующие цифро-буквенные индикаторы, в которых конфигурация знаков задается формой сегментов, поэтому очень важно выбрать оптимальные начертания цифр, букв и знаков, используя определенное число сегментов. Не менее серьезной проблемой является анализ помехоустойчивости алфавитов синтезируемых знаков, предъявляемых оператору в затрудненных внешних условиях. Кроме того, создание видеотерминальных устройств (различного типа дисплеев) требует выбора оптимальных начертаний букв и знаков. При построении мнемосхем и кодировании информации также необходимо оценивать знаковые системы. Для решения перечисленных выше теоретических и практических задач можно использовать специальную методику оценки алфавитов знаков, существенным моментом которой является определение и выделение информативных признаков в символах.

Основываясь на том, что сложный характер приема и переработки информации с опорой на свойство целостности восприятия и определенный опыт человека дает возможность принимать полное сообщение по некоторым элементам, можно выделить определенные сигнальные элементы, которые несут с собой больше информации, чем другие, т. е. в них сконцентрирована основная информация, и искажение этих элементов при передаче информации вызывает больше всего ошибок. По этим элементам человек может восстанавливать информацию, утраченную при ее передаче. Признаки (элементы), несущие основную информацию об объекте и дающие возможность полностью восстанавливать и перерабатывать сообщение, являются информативными признаками объекта.

Одной из методик определения информативности признаков символов является методика «случайной фрагментации» изображения. В противоположность методике посегментной или поэле-

ментной фрагментации, которая исходит, с одной стороны, из особенностей технической реализации устройств отображения (возможность выключения целых сегментов в знакогенерирующем устройстве) и, с другой стороны, из особенностей структуры знаков (удаления определенных заданных элементов этой структуры), методика «случайной фрагментации» строится на возможности разрушения знака в случайном порядке и удалении любых



Рис. 10. Примерные типы алфавитов знаков.
 A_1 — пиктограммы; A_2 — картографические знаки; A_3 — буквы; A_4 — цифры специфической конфигурации (5-сегментная); A_5 — геометрические фигуры.

деталей знака, не совпадающих с элементами синтезирования или заданными элементами структуры знака. Методика «случайной фрагментации» может быть использована для изучения особенностей процессов приема и первичной переработки знаковой информации.

Для проведения эксперимента необходимо подготовить экспериментальный материал. Лучше всего использовать алфавиты знаков, состоящие из цифр, букв, геометрических фигур и пиктограмм (примеры на рис. 10).

Для сравнения можно подобрать несколько видов конфигураций цифр и букв, специфических для синтезируемых сегментных алфавитов (5-, 7-, 9-, 10-сегментные).

Знаки вписываются в прямоугольник размером 2×3 см. Затем изготавливаются по этому размеру матрицы типа Харра — Уолша, которые имеют вид шахматного поля с чередованием белых и черных полей (рис. 11). Эти матрицы могут быть с различным количеством закрытых полей в любом месте пространства признаков. Матрицы накладываются на прямоугольник с изображением знака. Те части знака, которые попадают в открытое

(белое) поле, прорисовываются, а те, которые попадают в закрытое (черное) поле, удаляются, и получается разрушенный знак (неполное изображение). Таким образом изготавливается экспозиционный материал в виде случайных фрагментов знаков, полученных после просмотра их через определенные виды матриц. Эти фрагменты знаков могут быть нанесены на ленту самописца или на отдельные карточки. Отсюда два возможных варианта проведения эксперимента.

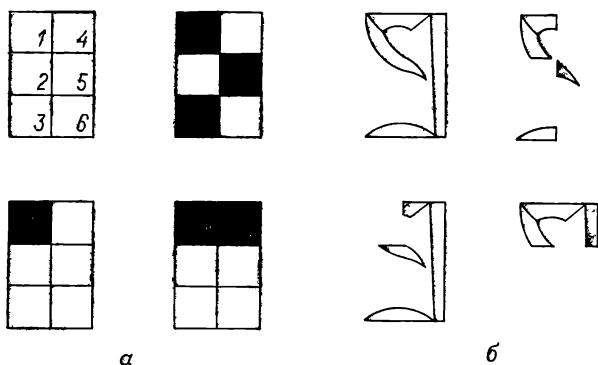


Рис. 11. Матрицы типа Харра—Уолша.
 а — примеры экспериментальных матриц; б — примеры неполного изображения знаков после просмотров через матрицу.

1. Экспозиционный материал предъявляется на ленте самописца, движущейся с определенной скоростью, и тем самым ограничивается время предъявления знака. Все кадры на ленте самописца должны быть пронумерованы (Задание 1).

2. Экспозиционный материал предъявляется на карточках. Все карточки должны быть пронумерованы, а экспериментатор должен иметь лист с обозначением номера карточки, соответствующего номера полного знака и номера матрицы, которая была наложена на знак (Задание 2).

Задание 1

Для оценки и выделения информативных признаков алфавита знаков на различных уровнях познавательной деятельности проводится эксперимент с предъявлением фрагментов знаков на движущейся ленте самописца.

Можно исследовать четыре основных процесса: 1) восстановление незнакомого знака, 2) идентификацию, 3) опознание, 4) декодирование. В каждом случае будут меняться задание и инструкция для испытуемого. Рассмотрим эти случаи.

1. Восстановление незнакомого знака.

Инструкция для испытуемого: «Перед Вами будут появляться фрагменты знаков, вы должны внимательно на них посмотреть, мысленно восстановить, представить целый знак, а затем его зарисовать на листе бумаги. Знаки могут быть из различных алфавитов: цифры, буквы, геометрические фигуры и пиктограммы».

Ответ испытуемого регистрируется в виде зарисовок на отдельных карточках. На каждой карточке отмечается номер кадра. Затем все карточки складываются в конверт с фамилией испытуемого и обозначением алфавита знаков.

2. Идентификация.

Для этой задачи изготавливается дополнительная таблица с полным изображением всех знаков предъявляемого алфавита, которая кладется перед испытуемым. Каждый знак в таблице имеет свой номер.

Инструкция для испытуемого: «Перед Вами будут появляться фрагменты знака, вы должны внимательно на них посмотреть и сличить с таблицей знаков, которая лежит перед вами. Назовите номер того знака в таблице, фрагменты которого предъявляются на ленте». Экспериментатор регистрирует названный испытуемым номер напротив номера кадра, обозначенного в протоколе.

3. Оpozнание.

Для решения этой задачи проводится предварительная подготовка испытуемых и экспериментального материала. Все знаки предъявляемого алфавита разбиваются на две группы. Одна из них дается для заучивания испытуемым, вторая является фоновой. Испытуемые заучивают знаки до полного их усвоения, для чего проводится контрольная проверка. Затем испытуемым предъявляются фрагменты всех знаков алфавита (в том числе фоновых).

Инструкция для испытуемого: «Перед Вами будут появляться фрагменты знаков, среди них есть фрагменты тех знаков, которые Вы заучивали. Вы должны назвать номер того кадра, в котором Вы узнали знакомый знак, а также сделать его зарисовку». Экспериментатор регистрирует в протоколе номера кадров опознанных знаков, а также зарисовки испытуемых.

4. Декодирование.

Для решения этой задачи также проводится предварительная подготовка испытуемых и экспериментального материала. Подбирается такой алфавит знаков, в котором закодирована определенная информация об объектах, например, пиктограммы, картографические знаки. Испытуемые заучивают знаки и их значение. Для определения прочности усвоения проводится контрольная проверка. Затем испытуемым предъявляются фрагменты знаков алфавита, а также часть фоновых.

Инструкция для испытуемого: «Перед вами будут появляться фрагменты знаков, среди них есть фрагменты тех знаков, зна-

чения которых Вы заучивали. Вы должны назвать значение знака, а также сделать его зарисовку». Экспериментатор регистрирует в протоколе номер кадра и ответы испытуемого, а также зарисовки знаков, которые сделаны испытуемым.

Задание 2

В другом варианте методика «случайной фрагментации» может быть использована для сравнения, оценки и выбора конфигураций символов. В этом случае эксперимент проводится по типу классификации карточек, предъявленных испытуемому. Экспозиционным материалом служат карточки с фрагментами знаков. Для эксперимента изготавливается специальная таблица, которая помещается перед испытуемым. В этой таблице отмечены

A_1	A_2				1	2	3	4
A_3	A_4				5	6	7	8
A_5	—				9	0	—	—
а		б			в			

Рис. 12. Примерные таблицы для классификации фрагментов.

а — индексы алфавитов; б — индексы знаков на примере картографического алфавита; в — цифры

признаки, по которым должна производиться классификация карточек. Возможно несколько видов классификации в зависимости от задачи исследования:

1) при сравнении нескольких видов алфавитов ($A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$) в таблицу заносятся индексы этих алфавитов;

2) при сравнении знаков различной конфигурации внутри одного алфавита в таблицу заносятся индексы знаков ($Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_n$);

3) при оценке цифр и букв специфической конфигурации для сегментных индикаторов в таблицу заносятся общепринятые начертания цифр и букв (примеры таблиц на рис. 12).

Инструкция для испытуемого: «Вам даны карточки с изображением фрагментов знаков, Вы должны разложить эти карточки на соответствующие места в таблице. Раскладываете быстро. Если не знаете, куда положить карточку, отложите ее в сторону». Экспериментатор регистрирует время первичной классификации, записывает номера карточек, разложенных в таблице соответственно занимаемому месту. Затем убирает эти карточки и предлагает испытуемому провести вторичную классификацию тех карточек, которые вызвали затруднения при

первичной классификации. Регистрируются время вторичной классификации и порядок разложения карточек в таблице.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ, ИХ ОБРАБОТКА И ОФОРМЛЕНИЕ

Обработка результатов исследования проводится для каждого варианта методики своим способом.

Обработка результатов по I варианту методики (Задание 1)

Форма протокола для регистрации ответов испытуемых (Задание 1)

Протокол №

Фамилия, имя испытуемого

Название эксперимента

С е р и я №

Исследуемый процесс: восприятие (В), идентификация (И), опознание (О) декодирование (Д).

Алфавиты знаков №

Дата эксперимента

№ опыта	Номер кадра на ленте	Ответы испытуемого			Зарисовки		
		Идентификация	Опознание	Декодирование			
		№ знака в таблице	№ кадра и ответ	значение знака	В	О	Д
1	5	3	5 (да)	Буй			
2	6	2	— (нет)	Маяк			
3	7	4	7 (да)	—			
4	8	5	— (нет)	Корабль			

Прежде всего производится обработка результатов по точности восстановления разрушенного незнакомого знака. Зарисовки всех испытуемых сортируются по эталонам предъявленных в эксперименте знаков. Затем подсчитывается количество правильно восстановленных знаков, частично восстановленных, совсем невосстановленных или восстановленных неправильно.

Для того чтобы определить, какие признаки символов оказались наиболее информативными, проводится дальнейшая каче-

ственная обработка данных. Сначала подсчитывается количество правильных зарисовок для каждой матрицы отдельно с одним, двумя, тремя и т. д. закрытыми полями и определяется зависимость точности от расположения элемента знака в пространстве признаков.

Точность восстановления (% правильных ответов) знака A_3 в зависимости от вида экспериментальной матрицы

Матрица	Знак							
	1		2		3		n	
	Части знака							
	контур	детали	к	д	к	д	к	д
M_1	80	0	50	—				
M_2								
M_3								
M_n								

Затем нужно определить вероятность появления признаков в алфавите знаков, разнообразие этих признаков и зависимость точности восстановления знаков от этих величин. Информативным будет тот элемент знака, который дает наибольшую вероятность правильного восстановления знака. После выделения информативных признаков дается их качественная характеристика и указывается размещение в пространстве признаков.

Для характеристики процесса восстановления знака и стратегии испытуемых при зарисовке знаков можно подсчитать индекс совпадающих ошибочных ответов M_c , который определяется через отношение числа совпадающих ошибочных ответов ($m_{c.o.}$) к общему числу ошибок ($m_{ош}$):

$$M_c = \frac{m_{c.o.}}{m_{ош}} \%$$

Обработка результатов по точности идентификации начинается с определения количества правильно названных знаков из каждого алфавита знаков и для каждой экспериментальной матрицы отдельно. Затем составляются матрицы перепутывания

знаков, причем в вертикальный столбец матрицы заносятся все неполные изображения знака (обозначаемые как фрагменты — $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_n$). С этой целью клеточка каждого знака (3) разбивается на столько частей, сколько было представлено неполных его изображений в эксперименте, а в горизонтальный столбец помещаются эталоны только полных знаков.

На основании этой матрицы подсчитывается вероятность перепутывания знаков на основе предъявленных фрагментов, что позволяет определить наиболее информативные признаки символов, оказывающие влияние на точность идентификации знаков.

Пример матрицы перепутывания

Значение фрагмента		Эталон			
		z_1	z_2	z_3	z_n
z_1	Φ_1	5	0		
	Φ_2	6	2		
	Φ_3	3	1		
z_2	Φ_1				
	Φ_2				
	Φ_3				
z_3	Φ_1				
	Φ_2				
	Φ_3				
z_n	Φ_1				
	Φ_2				
	Φ_3				

Экспериментальные данные по процессу опознавания алфавитов знаков обрабатываются в двух направлениях:

1) по точности узнавания заученных знаков (количество правильных ответов),

2) по точности восстановления опознанного знака по его фрагментам (количество правильных зарисовок).

Эти данные сравниваются между собой, и определяется степень совпадения правильно опознанных и восстановленных знаков. Затем составляются матрицы перепутывания по такому же принципу, как для процесса идентификации, т. е. в матрицу заносятся все использовавшиеся в эксперименте знаки и их фрагменты, как основные, которые испытуемый заучивал, так и фоновые. Матричные данные обрабатываются так же, как и в предыдущем случае.

Точность декодирования знаков определяется по двум параметрам:

1) точности ответа испытуемого — правильное название значения знака;

2) точности зарисовок декодированных знаков.

Далее составляются таблицы, в которых представляют данные по зависимости точ-

ности декодирования от предъявленного фрагмента знака, т. е. от информативности признака, для чего в таблицу заносятся фрагменты знаков, которые нужно было декодировать, и количество правильных ответов испытуемых. Сравниваются также точность декодирования и правильность записки знака.

После того как обработаны экспериментальные данные по каждому процессу отдельно, можно составить сводные таблицы для сравнения всех процессов по точности ответов испытуемых в зависимости от: 1) типа алфавита знаков, 2) вида и сложности знаков внутри алфавита, 3) типа экспериментальной матрицы, 4) вида предъявленных фрагментов знаков. Ниже приведен пример сводной таблицы.

**Обработка результатов
по II варианту методики —
классификация знаков по их
фрагментам (Задание 2)**

Сначала производится обработка экспериментальных данных по точности и скорости первичной классификации. Точность определяется количеством правильно разложенных фрагментов знаков, а скорость — как отношение общего количества классифицированных знаков (n_k) к общему времени классификации (t_k):

$$V = \frac{n_k}{t_k}.$$

Форма протокола для регистрации ответов испытуемых (Задание № 2)

Протокол №

Фамилия, имя испытуемого

Название эксперимента: классификация фрагментов

Серия № Алфавиты знаков №

Дата эксперимента

№ опыта	Индекс алфавита знака	Номера карточек (первичн. классификация)	Первичн. классификация	Номера карточек (вторичн. классификация)	Вторичн. классификация
1		1, 5, 10, 12	25 см	3, 4, 2	5 с
2					
3					
4					
5					

**Точность ответов испытуемых
(% правильных ответов)
в зависимости от характера
процесса и типа алфавита**

Процесс	Алфавит				
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
Восприятие					
Идентификация					
Опознавание					
Декодирование					

Таким же образом обрабатываются данные по вторичной классификации. Эти данные помогают выделить те фрагменты, которые вызывают самые большие трудности при классификации. Для определения наиболее информативных элементов знака можно составить шкалу информативности, которая дает возможность использовать экспериментальные данные по точности классификации. Шкала основывается на том принципе, что выпадение информативного признака ведет к резкому снижению точности опознавания, а выпадение неинформативного фрагмента не оказывает влияния на точность. Поскольку в эксперименте мы имеем дело со случайной фрагментацией знака, то нам легче регистрировать выпадающие элементы знаков, беря за основу пространство признаков в экспериментальной матрице. Шкала информативности признаков дается в пятибалльной системе, причем чем меньше точность опознавания, тем больше балл информативности выпавшего признака.

Шкала информативности признаков

0—100% прав. ответов	3 — от 31 до 50%
1 — от 71 до 80%	4 — от 14 до 30%
2 — от 51 до 70%	5 — от 0 до 14%

Для дальнейшей обработки экспериментальных данных по качеству допущенных ошибок составляются матрицы перепутывания. В них заносятся по вертикали и горизонтали все полные знаки, фрагменты которых предъявлялись в эксперименте. На основе этих матриц подсчитывается число правильных и неправильных ответов, определяется симметричность перепутываний.

Далее, используя матричные данные, можно построить графы, ориентированные по мощности связей различных знаков между собой как внутри одного алфавита знаков, так и между различными алфавитами (рис. 13). Граф можно построить сле-

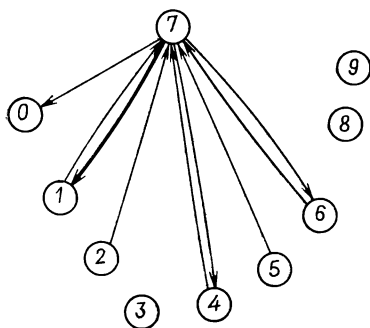


Рис. 13. Пример построения графа.

дующим образом: на вершине графа располагается эталонный знак, по краям все другие знаки, фрагменты которых предъявлялись в эксперименте. Ребрами графа служат те связи, которые обнаруживаются в эксперименте между всеми знаками. Мощность этих связей определяется количеством перепутываний эталонного знака с другими знаками, причем в ту и другую сторону, т. е., например, цифра 7 могла пять раз перепутываться с цифрой 3, а цифра 3 — только два раза с цифрой 7. Таких графов может быть построено несколько вариантов:

- 1) для каждого алфавита знаков;
- 2) для каждого знака в алфавите;
- 3) для каждого фрагмента знаков, предъявляющихся в эксперименте;
- 4) для каждой экспериментальной матрицы.

Можно построить отдельные графы для той группы знаков, которая попала во вторичную классификацию.

ВОЗМОЖНЫЕ ВЫВОДЫ ИЗ ЭКСПЕРИМЕНТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДИКИ «СЛУЧАЙНОЙ» ФРАГМЕНТАЦИИ

Полученные экспериментальные данные могут быть использованы в нескольких направлениях:

- 1) для характеристики особенностей приема и переработки знаковой информации;
- 2) для оценки алфавитов знаков;
- 3) для оценки и сравнения нескольких вариантов конфигураций одних и тех же знаков внутри одного алфавита знаков;
- 4) для определения информативности признаков символов.

По каждому из этих направлений могут быть сделаны конкретные выводы, как теоретические, так и практические. Приведем примерный план выводов.

1. Дается характеристика особенностей процессов восприятия незнакомого знака, идентификации, опознания и декодирования.
2. Определяется специфика формирования образа полного знака в процессе его восстановления.
3. Выделяются основные этапы формирования эталонов специфических конфигураций цифр, букв.
4. Определяются наиболее информативные признаки символов.
5. Выделяются группы знаков, вызывающие наибольшие трудности в процессе восстановления и классификации.
6. Определяются оптимальные алфавиты знаков с точки зрения успешности их опознания и декодирования.
7. Предлагаются оптимальные варианты конфигураций знаков для формирования помехоустойчивых алфавитов знаков.
8. Дается оценка новых алфавитов знаков.
9. Делаются выводы по индивидуальным особенностям восприятия, опознания и декодирования знаков отдельными испытуемыми, дается характеристика индивидуальных стратегий, применяемых различными испытуемыми.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие элементы знаков называются информативными признаками и как они могут быть определены?

2. В чем главная особенность и отличие методики «случайной фрагментации» по сравнению с другими методиками оценки информативности признаков?

3. Какие психологические задачи могут быть решены с использованием методики «случайной фрагментации»?

4. Как должен быть подготовлен экспериментальный материал?

5. Каким образом составляются матрицы перепутывания и как они используются для образования графов?

ЛИТЕРАТУРА

1. Литвак И. И., Ломов Б. Ф., Соловейчик И. Е. Основы построения аппаратуры отображения в автоматизированных системах. М., 1975, с. 242—297.

2. Тутушкина М. К. К вопросу об оптимальном кодировании информации в проектируемых системах управления. — В кн.: Человек и общество. Вып. 8. Л., 1971, с. 99—105.

3. Тутушкина М. К. Психологические основы кодирования информации. — В кн.: Проблемы инженерной психологии. Ярославль, 1976, с. 63—77.

ПРИЕМ И ПЕРЕРАБОТКА ВИЗУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

ЗА Н Я Т И Е 10. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПЕРЕРАБОТКИ НАГЛЯДНОЙ ВИЗУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ ЧЕЛОВЕКОМ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СИСТЕМЫ ОТСЧЕТА

В ходе технического прогресса управление объектами самого различного класса и назначения становится все более сложным. Это вызвано, во-первых, увеличением числа индикаторов, дающих показания о различных параметрах протекающего процесса; во-вторых, все большим удалением оператора непосредственно от объекта управления.

Во многих случаях у операторов возникает необходимость оценить возникающую ситуацию качественно, т. е. без точного считывания показаний индикаторов. Анализ изменившихся параметров протекает как последовательная совокупность этапов приема, переработки информации и выработки решения по воздействию на органы управления.

Современные панели информации отличаются от предшествовавших им в минувших десятилетиях насыщенностью приборами, дающими показания в абстрактно-условной форме (различные стрелочные и цифровые индикаторы). В связи с этим перед оператором встает задача декодирования показаний и их интерпретации, т. е. выявления смысла сигнала.

Под *смысловой читаемостью* понимается совокупность свойств индикационной части прибора, способствующих пониманию смысла сигнала. Она в наибольшей мере определяет работу функциональных механизмов извлечения из памяти тех данных о состоянии той или иной из переменных системы, которым соответствует показание прибора.

При качественном анализе информации процесс ее декодирования можно облегчить введением наглядной опоры в форме картинного изображения на экранном индикаторе. Изображения можно подразделить на объективные, символические и абстрактные.

Объективное изображение показывает видимую реальность (фотография, кинофильм, телекадр).

Символическое характеризуется тем, что в нем идея берется из реальной действительности, но воплощаются лишь видимые характеристики объектов, необходимые для их опознания. Сам символ может быть ассоциативным, т. е. своей формой напоминать форму объекта, или условным, т. е. обладать независимой от объекта формой, значение которой определяется по соглашению.

Абстрактной формой изображения можно считать такую, где идея берется из системы понятий безотносительно к каким-либо ассоциациям (математический материал, цифровая индикация).

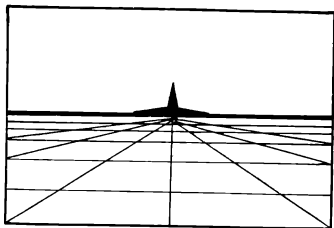


Рис. 14. Изображение, предъявляемое испытуемым.

Вид изображения на экране индикатора может определяться типом системы управления, ее целеназначением и задачами, стоящими перед оператором. Наиболее характерные типы автоматизированных систем управления (АСУ):

- 1) АСУ движущимся объектом;
- 2) АСУ диспетчерского типа;
- 3) АСУ средствами сбора информации (наблюдения за пространством);
- 4) АСУ энергетическими установками;
- 5) АСУ технологическими процессами.

В настоящей работе рассматривается модель системы управления самолетом. Назначение системы — обеспечение достижения объектом управления заданного пункта в течение заданного времени. Задача оператора — удерживание управляемого объекта на расчетной траектории: он должен выдерживать прямолинейный горизонтальный полет по показаниям индикатора. Информация представляется на экране в виде ассоциативно-символического изображения (рис. 14). Переменные параметры: курс, тангаж, крен.

Курс — угловая величина, определяющая отклонение продольной оси самолета от расчетной линии пути.

Тангаж — угловая величина, определяющая наклон продольной оси самолета к линии горизонта.

Крен — угловая величина, определяющая наклон поперечной оси самолета к линии горизонта.

Цель настоящего занятия — оценка эффективности наглядного представления информации при работе оператора с АСУ движущимся в пространстве объектом. Эффективность оценивается временем безошибочного принятия решения по устранению возникшего рассогласования в направлении движения объекта; временем принятия решения при кратковременной экспозиции изображения; числом неправильно принятых решений в зависи-

мости от реализованного в модели индикатора способа отображения пространственного положения.

Исследуются два способа отображения. В одном случае пространственное положение самолета отображается перемещением его символа на экране относительно неподвижной земли, в другом — изменением ориентации символизированной плоскости земли относительно неподвижного символа самолета. Допускается, что ускорения и перегрузки, возникающие в полете, остаются для испытуемых подпороговыми. Основная информация о пространственном положении поступает на вход зрительного анализатора от визуальных индикаторов.

МЕТОДИКА

Задание выполняют два человека, поочередно выступающих в роли экспериментатора и испытуемого. На экране предъявляется изображение, в котором закодировано изменение пространственного положения по курсу, крену и тангажу. От предъявления к предъявлению ситуация изменяется дискретно.

В качестве аппаратуры используются тахистоскоп с электро-механической шторкой и электронный секундомер, позволяющий проводить замеры с точностью до 0,01 с. Подбородок испытуемого фиксируется на специальной подставке строго против центра экрана тахистоскопа на расстоянии 0,7 м от него. Перед испытаниями участвующие в эксперименте проходят темновую адаптацию в течение 5—7 мин.

Экспериментальным материалом являются диапозитивы размером 24×36 мм в картонных рамках. Каждый кадр отображает качественное изменение ситуации.

При способе отображения ситуации изменением положения символа самолета крен представляется наклоном символа вправо или влево на 20° к линии горизонта. Тангаж — смещение символа по вертикали на $\frac{1}{6}$ часть высоты кадра вверх или вниз, а курс — смещением символа от центра на $\frac{1}{4}$ часть длины кадра. Испытуемый как бы со стороны наблюдает за изменением пространственного положения самолета.

При отображении ситуации изменением ориентации символизированной плоскости земли во всех кадрах положение символа самолета остается фиксированным в центре изображения. Крен представляется наклоном плоскости земли на 20° вправо и влево относительно линии горизонта. Тангаж имитируется изменением просвета между линией горизонта и горизонтальной линией, ограничивающей плоскость. Изменение не должно превышать $\frac{1}{6}$ части высоты кадра. Отклонение по курсу достигается смещением точки схода перспективных прямых, нанесенных на плоскости, вправо и влево от центра на $\frac{1}{4}$ длины кадра.

Следует иметь в виду, что отклонение самолета по курсу вправо отображается как смещение точки схода прямых влево

относительно его неподвижного символа, и наоборот. Точно так же правый крен бывает представлен как наклон плоскости земли влево, а левый — как наклон земли вправо. Этот эффект можно наблюдать в кинофильме, снятом кинокамерой, жестко скрепленной с самолетом.

Для удобства работы экспериментатора каждый диапозитив нумеруется в соответствии с номером изображенной на нем ситуации. Экспериментатор при испытаниях заполняет протокол, в котором номера отображенных ситуаций соответствуют их номерам в диапозитивах. Это помогает избежать ошибок в предъявлениях и заполнении протокола. Перед экспериментом проводится пробная серия опытов, необходимая для понимания испытуемым цели и задач работы.

Выполняются две серии испытаний. В каждой серии в случайном порядке предъявляются диапозитивы, отображающие ситуацию с помощью подвижного символа самолета, а также диапозитивы, отображающие ситуацию изменением ориентаций поверхности земли.

Первая серия. Испытуемый работает с установкой на безошибочность решения. Ему задается инструкция: «Самостоятельно подать изображение на экран после вспышки зеленой лампочки «Внимание», рассмотреть возникшую ситуацию, осмыслить ее, принять решение о возвращении отклонившегося самолета на расчетную траекторию, о принятом решении доложить в речевой форме экспериментатору только после исчезновения изображения». Ответы давать в установленной форме:

Вправо (влево) повернуть — при отклонении от курса.

Правый (левый) крен убрать — при возникновении крена.

Тангаж увеличить (уменьшить) — при возникновении тангажа. Порядок слов в ответах соблюдать обязательно! Решение принимать рекомендуется возможно быстрее, но обязательно безошибочно. Ошибочные ответы не засчитываются.

Каждая ситуация предъявляется по двадцать раз. Десять раз левый крен, десять — правый; десять раз отклонение от курса вправо, десять — влево и т. д. Порядок предъявления ситуаций случайный. Замеряются временные затраты на выработку правильного решения и заносятся в Протокол № 1.

Вторая серия. Испытуемый работает с установкой на быстроту принятия решения. На экране тахистоскопа предъявляются те же ситуации, что и в первой серии, но в кратковременной экспозиции 0,3 с. Перед каждым предъявлением за 1,5—2,0 с подается предупредительный сигнал — вспышка зеленой лампочки «Внимание». Задается инструкция: «Опознать возникшую ситуацию и принять решение о возвращении отклонившегося самолета на расчетную траекторию возможно быстрее, о чем доложить в установленной речевой форме» (форма приведена выше). Во второй серии экспериментов испытуемый работает с микрофоном, заблокированным со звуковым реле.

Экспериментатор замеряет время выработки решения по сенсоречевой реакции и число ошибочных решений. Секундомер отсчитывает время с момента окончания экспозиции до момента начала речевого ответа.

Правильные ответы со знаком (+) заносятся в Протокол № 2 против соответствующих ситуаций номеров диапозитивов, а ошибочные — со знаком (—). Протокол № 2 имеет тот же вид, что и Протокол № 1. В графах изменения ситуаций добавляются столбцы для ответов испытуемого.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

По полученным данным подсчитываются средняя арифметическая времени безошибочного решения и время решения при экспозиции 0,3 с, а также число правильных решений в процентах (процент правильных решений находится как 100% минус процент ошибочных решений). Определяются дисперсия и среднее квадратическое отклонение для каждой ситуации в каждой серии. По t -критерию Стьюдента или лямбда-критерию Колмогорова — Смирнова (в зависимости от вида распределения) проверяется достоверность различий по средним значениям времени безошибочного решения при кратковременной экспозиции между одноименными ситуациями в каждой серии экспериментов.

Обработанные данные заносятся в сводную таблицу. Средние значения представляются в виде столбчатой диаграммы.

На основании обработанных результатов проанализировать влияние способа отображения, реализованного в модели наглядного индикатора, на скорость и точность переработки информации оператором.

Объяснить причину различий в результатах (если они существуют) при различных способах отображения пространственного положения с помощью одного и того же изображения.

Сделать выводы о предпочтительности способа отображения пространственного положения в наглядных индикаторах.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каковы достоинства ассоциативно-символического представления информации и в решении каких операторских задач эти достоинства проявляются наиболее сильно?

2. Назовите известные вам типы изображений и дайте их краткую характеристику.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крылов А. А. Человек в автоматизированных системах управления. Л., 1972. 192 с.
2. Ломов Б. Ф. Человек и техника. М., 1966. 464 с.
3. Плехинский Н. А. Биометрия. Изд. 2-е. М., 1970. 367 с.

ЗАНЯТИЕ 11. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПЕРЕРАБОТКИ НАГЛЯДНОЙ ВИЗУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ ЧЕЛОВЕКОМ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЧИСЛА ПЕРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ

В предыдущем задании рассматривалось влияние способа отображения пространственного положения на время и точность переработки информации оператором. Пространственное положение изменялось отдельно по курсу, крену и тангажу. В реальной действительности при движении летательного аппарата в пространстве изменение лишь одного параметра под воздействием внешних возмущений — явление редкое. Обычно изменение одного параметра влечет за собой изменение другого или (чаще всего) сразу нескольких параметров.

Цель занятия — выявить изменение точности и временных затрат на принятие решения в зависимости от числа одновременно меняющихся параметров.

МЕТОДИКА

Аппаратура и процедура опыта остаются точно такими же, как в предыдущем задании. Задание выполняют два человека, поочередно выступающие в роли экспериментатора и испытуемого. Переменными являются крен, курс и тангаж. Количественные значения этих переменных не отображаются. Изменяются попарно: крен и курс, крен и тангаж, курс и тангаж. Затем все три переменных изменяются одновременно. Ситуация отображается как изменением положения символа самолета, так и положения символизированной плоскости земли. Порядок предъявления диапозитивов случайный. Из всех возможных положений самолета в пространстве выбирается четырнадцать положений, возникающих при отклонении по двум или трем параметрам одновременно относительно прямолинейной горизонтальной траектории.

По двум параметрам:

1. Вправо с правым креном.
2. Влево с левым креном.
3. Вверх с левым креном.
4. Вверх с правым креном.
5. Вниз с левым креном.
6. Вниз с правым креном.
7. Вверх и вправо.
8. Вверх и влево.
9. Вниз и вправо.
10. Вниз и влево.

По трем параметрам:

11. Вправо и вверх с правым креном.
12. Вправо и вниз с правым креном.

13. Влево и вверх с левым креном.

14. Влево и вниз с левым креном.

Рамки диапозитивов нумеруются в соответствии с нумерацией положений в приведенном списке. Это облегчит работу экспериментатора и избавит его от ошибочных предъявлений. Всего для задания изготавливаются 28 диапозитивов: 14 с отображением положения самолета при помощи его подвижного символа, 14 — с отображением изменяющегося положения плоскости земли.

Проводятся четыре серии испытаний. В первых двух сериях определяется время безошибочного принятия решения оператором по устранению возникших рассогласований при разных способах отображения пространственного положения. Во вторых двух сериях для тех же способов отображения определяются время принятия решения при кратковременной экспозиции 0,3 с по сенсоречевой реакции и число правильных решений.

Каждая ситуация с изменением двух переменных предъявляется по четыре раза, а ситуация с изменением трех переменных — по десять раз. Всего за четыре серии делается 320 предъявлений, по 160 каждому испытуемому. Речевые ответы о принятом решении должны даваться в установленной форме. Результаты испытаний заносятся в протоколы по образцу предыдущего задания.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

По полученным экспериментальным данным подсчитываются средняя арифметическая, дисперсия и среднее квадратическое отклонение в каждой серии. По критерию Стьюдента или лямбда-критерию Колмогорова — Смирнова (в зависимости от вида распределения) проверяется достоверность различий средних значений времени принятия решения по устранению рассогласования двух и трех параметров в каждой серии.

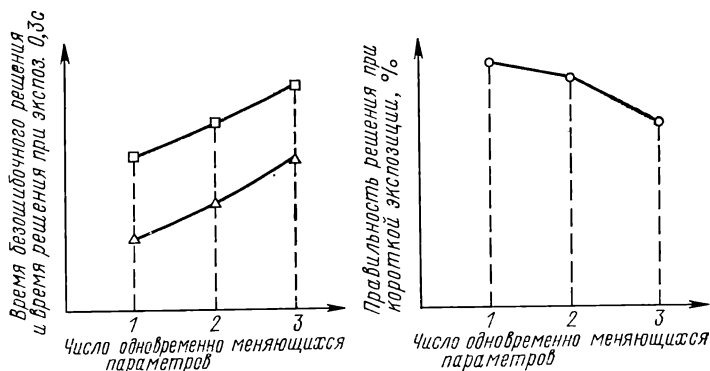


Рис. 15. Зависимость показателей решения от числа одновременно меняющихся параметров.

Результаты эксперимента

Число одновременно меняющихся параметров	Измеряемые величины	Простр. положение отображается перемещением символа самолета			Простр. положение отображается перемещением плоскости земли		
		Средняя арифметическая	Дисперсия	Среднее квадратическое отклонение	Средняя арифметическая	Дисперсия	Среднее квадратическое отклонение
Один	Время безошибочного решения						
	Время решения при экспозиции 0,3 с						
	Правильные решения, %						
Два	Время безошибочного решения						
	Время решения при экспозиции 0,3 с						
	Правильные решения, %						
Три	Время безошибочного решения						
	Время решения при экспозиции 0,3 с						
	Правильные решения, %						

Результаты расчетов сводят в таблицу, образец которой приводится. Вычерчиваются кривые изменения времени безошибочного решения, времени решения при экспозиции 0,3 с и процентное изменение правильности решений в функции от числа переменных параметров для разных способов отображения (рис. 15). Для этого используются результаты, полученные в предыдущем исследовании, где происходило изменение пространственного положения самолета по одному параметру.

На основании обработанных результатов необходимо проанализировать изменение времени принятия решения в зависимости от числа переменных параметров пространственного положения. Объяснить характер изменения кривых.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как влияют сложность оперативных задач и возможности оперативной памяти на переработку информации оператором?

ЛИТЕРАТУРА

1. Зараковский Г. М. Психофизиологический анализ трудовой деятельности. М., 1966. 114 с.
2. Ломов Б. Ф. Человек и техника. М., 1966. 464 с.
3. Плохинский Н. А. Биометрия. Изд. 2-е. М., 1970. 367 с.

ЗАНЯТИЕ 12. ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ОБНАРУЖЕНИЯ ВИЗУАЛЬНОГО СИГНАЛА НА ФОНЕ СТАЦИОНАРНЫХ ПОМЕХ

Обнаружение — это исходная фаза любого сенсорного процесса, одна из самых первых элементарных гностических операций при приеме информации человеком. Обнаружение входит в состав любой деятельности человека-оператора.

Классификация видов обнаружения может осуществляться по следующим основаниям: а) модальности; б) типу сигналов; в) типу помех.

По модальности обнаружение может быть визуальным, акустическим, тактильным и др.

В зависимости от модальности предъявленного сигнала рассматриваются его физические характеристики, по которым мы относим сигнал к тому или иному типу. Помехи могут быть по своему происхождению внешними, т. е. возникающими в окружающей среде; фоновыми, которые можно трактовать как шумы канала передачи; внешними, но неразрывно связанными с сигнальными процессами, так как они обусловлены самой физической природой сигнала или внутренними особенностями генератора сигналов и, наконец, внутренними, т. е. связанными со специфическими характеристиками самого человека. В свою очередь внешние помехи, обусловленные физической природой носителя сигналов, делятся на стационарные и нестационарные. Стационарными назовем помехи, которые являются irrelevantными сигналами для данного периода наблюдения.

С точки зрения эффективности процесс обнаружения оценивается по параметрам времени и точности обнаружения.

Точность обнаружения характеризует количество и характер ошибок. Ошибки при обнаружении бывают двух типов: пропуск сигнала и ложная тревога. Пропуском сигнала считают такой момент, когда на предъявленный сигнал поступает ответ «Нет». Ложной тревогой называют ответ «Да» на непредъявленный

сигнал или на иррелевантный сигнал для данного периода наблюдения.

Эффективность обнаружения зависит от таких характеристик сигнала, как: 1) временные (вероятность появления сигнала, время пребывания сигнала на экране); 2) пространственные (количество, тип и размер экрана, угловые величины сигнала, местоположение сигнала на экране); 3) информационные (способ кодирования; яркость, контраст, форма и цвет сигнала; количество предъявленных сигналов; характер и количество помех).

Цель занятия — исследование эффективности обнаружения визуального сигнала в зависимости от количества стационарных помех и времени экспозиции сигнала.

МЕТОДИКА

Занятие проводится на тахистоскопе. Вся программа занятия снята на пленку. Помехи и сигнал представлены в виде окружностей малого диаметра, различных по размеру. Сигнал имеет ту же форму и размер, как некоторые из помех. Сигнал может появиться в любом месте экрана с равной вероятностью. Количество помех во время опыта будет варьировать от 5 до 30 (экспериментальные точки — 5, 15, 30 помех). Расположение помех на экране равномерное. Во время опытов изменяется время экспозиции сигнала: I опыт — без ограничения, II опыт — 3 с, III опыт — 7 с.

В начале опыта испытуемому предъявляют на экране кадр с помехами для того, чтобы он запомнил их расположение. Затем предъявляют кадры с таким же расположением и количеством помех с добавлением сигнала или без него.

Сигнал может появиться с равной вероятностью. Задача испытуемого состоит в обнаружении вновь появившегося сигнала.

Занятие включает 3 опыта:

I опыт — переменным параметром является количество помех. Сигнал предъявляется на фоне 5 помех (25 кадров), 15 помех (25 кадров), 30 помех (25 кадров). Время экспозиции не ограничено ($\tau = \infty$).

II опыт — та же программа при времени экспозиции сигнала $\tau = 7$ с.

III опыт — та же программа при времени экспозиции сигнала $\tau = 3$ с.

Во время опытов регистрируются следующие параметры:

1. Время решения задачи.
2. Тип ответа: а) «да» (обнаружено при наличии сигнала), б) «нет» (пропуск при наличии сигнала), в) ложная тревога.

Для удобства регистрации ответов испытуемого экспериментатор условно разбивает экран на четыре квадранта: верхний левый (1), верхний правый (2), нижний левый (3), нижний правый (4). Испытуемый при обнаружении сигнала должен назвать

номер квадранта, где обнаружен сигнал. Результаты опыта за-
носятся в протокол. Приводим образец протокола.

ЗАДАНИЕ

Тема: Обнаружение визуального сигнала на фоне стационарных помех.

I опыт — τ неограниченное.

Испытуемый:

Экспериментатор:

Дата:

№ кадра	№ квадран- та	$n = 5$		$n = 15$		$n = 30$	
		Время	Ответ	Время	Ответ	Время	Ответ
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
.							
.							
.							
25							

Образцы протоколов для второй и третьей серий аналогичны:
II опыт — для времени экспозиции $\tau=7$ с; III опыт — для вре-
мени экспозиции $\tau=3$ с.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

1. Перенести в протокол эксперимента ответы испытуемого.
2. Определить среднее значение времени решения задачи при обнаружении сигнала на фоне 5 помех (M_1), на фоне 15 помех (M_2), на фоне 30 помех (M_3) отдельно для I опыта — при неограниченном времени предъявления сигнала $\tau=\infty$; для II опыта — при $\tau=7$ с; для III опыта — при $\tau=3$ с.
3. Определить вероятность обнаружения сигнала в зависимости от количества помех на экране отдельно для каждого опыта: I опыт — при неограниченном времени предъявления сигнала.

ла; II опыт — при $\tau=7$ с; III опыт — при $\tau=3$ с. Вероятность обнаружения сигнала определять по формуле

$$P = \frac{m}{n},$$

где m — количество обнаруженных сигналов; n — количество предъявленных сигналов.

4. Проанализировать характер ошибок (например, пропуск сигнала, ложная тревога). Ложной тревогой считать неправильно названный квадрант (местоположение сигнала) или ложное обнаружение сигнала при отсутствии его на экране.

5. Построить график зависимости времени обнаружения сигнала от количества помех на экране при различной экспозиции сигнала. По оси абсцисс — количество помех (n), по оси ординат — время обнаружения (t). Нанести 3 кривых: 1 — τ не ограничено; 2 — $\tau=7$ с; 3 — $\tau=3$ с.

6. Построить график зависимости вероятности обнаружения сигнала от количества помех на экране при различной экспозиции сигнала — также 3 кривых. По оси абсцисс — количество помех (n), по оси ординат — вероятность обнаружения (P).

7. Построить график зависимости ошибок (пропуски и ложные тревоги) от местоположения сигнала на экране. Ось абсцисс — номера квадрантов (1, 2, 3, 4); ось ординат — общее количество ошибок по трем сериям (две кривые: I — пропуски сигнала, II — ложные тревоги).

8. Построить кривую рабочей характеристики приемника (РХП), показывающей зависимость вероятности обнаружения сигнала от вероятности ложной тревоги. Если построение РХП невозможно, объяснить причину.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое обнаружение?
2. Какие виды помех Вы знаете?
3. По каким параметрам оценивается эффективность процесса обнаружения?
4. От каких характеристик зависит эффективность обнаружения?
5. Какие ошибки допускаются при обнаружении сигналов?

ЛИТЕРАТУРА

1. Бейкер С. Х. Особенности зрительного восприятия радиолокационных изображений.— В кн.: Инженерная психология. М., 1964, с. 430—458.
2. Обнаружение и опознание сигналов. Доклады XVIII Международного психологического конгресса. М., 1966. 288 с.
3. Попов Г. П. Инженерная психология в радиолокации. М., 1971. 182 с.
4. Светс Дж., Тэннер В., Бёрдзалл Т. Статистическая теория решений и восприятие.— В кн.: Инженерная психология. М., 1964, с. 269—335.

ЗАНЯТИЕ 13. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОЛИЧЕСТВА ОБЪЕКТОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕЯ- ТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРА-ДИСПЕТЧЕРА НА ЭТАПЕ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ

В связи с характерной для современного производства интеллектуализацией труда одним из основных направлений психологии является исследование мыслительных процессов. Проблема принятия решений человеком в исследовании мыслительных процессов занимает центральное место, так как этап принятия решения присутствует практически в любой деятельности, а для некоторых типов деятельности (например, для диспетчерской) является основным. Специфика диспетчерской деятельности, наличие в ней различного рода экстремальных ситуаций, необходимость в короткие промежутки времени оценивать возникающие ситуации, подготавливать, принимать и реализовывать решения делают особо значимой проблему исследования факторов, влияющих на эффективность деятельности оператора-диспетчера в процессе принятия решения: внешних (вид представляемой информации, количество объектов, дефицит времени и т. д.) и внутренних (характеристики интеллектуальной, мнемической и эмоционально-волевой сфер личности).

Цель занятия — экспериментальное исследование влияния количества объектов, одновременно предъявляемых оператору-диспетчеру, на принятие решения.

АППАРАТУРА

Занятие проводится на экспериментальной установке, позволяющей моделировать деятельность оператора-диспетчера при решении оперативных задач с объектами, движущимися по телевизионному экрану.

Пульт экспериментатора: 1) десять лампочек, включение которых осуществляется с пульта испытуемого; 2) десять двухпозиционных тумблеров для включения объектов на экране; 3) десять трехпозиционных тумблеров для управления движением объектов по экрану; 4) потенциометры управления скоростью передвижения объектов по экрану; 5) тумблер включения секундомеров.

Пульт испытуемого. На пульте испытуемого расположены десять тумблеров для включения лампочек на пульте экспериментатора и выключения соответствующих секундомеров.

Регистрирующие приборы. Для регистрации времени решения всей задачи и времени «обработки» каждого объекта применяются электросекундомеры. Включение всех секундомеров производится тумблером с пульта экспериментатора, а выключение каждого осуществляется с пульта испытуемого соответствующи-

ми тумблерами. Для осуществления двусторонней связи экспериментатора и испытуемого имеются наушники с микрофоном.

ИНСТРУКЦИЯ ИСПЫТУЕМОМУ

Вы являетесь оператором-диспетчером по управлению воздушным движением. Движущиеся объекты, которыми Вы управляете, обозначены на телевизионном экране точкой, справа от которой находится цифровой формуляр. Первая цифра формуляра — номер объекта, вторая — высота объекта, третья — курсовое расстояние, четвертая — тип объекта. Перед телевизионным экраном находится пульт испытуемого с рядом пронумерованных тумблеров. Номер тумблера соответствует номеру объекта на экране. Количество объектов на экране может быть любым от двух до десяти. Вашей задачей является следующее:

1. Определить наиболее значимый объект из движущихся по экрану. Чем меньше высота и курсовое расстояние и чем больше тип объекта, тем он значимее, причем все параметры объекта равнозначны, т. е. одна условная единица высоты соответствует одной условной единице курсового расстояния и одной условной единице типа.

2. После определения наиболее значимого объекта включить тумблер, соответствующий номеру объекта. Этим Вы выключите секундомер, регистрирующий время, затраченное на данный объект. При правильном решении данный объект исчезнет с экрана.

3. Определить объект, наиболее значимый из оставшихся на экране, включить соответствующий тумблер и т. д. до исчезновения с экрана всех объектов.

4. После решения всей задачи дать краткий отчет о стратегии решения.

ПРОЦЕДУРА ЗАНЯТИЯ

Испытуемому дается инструкция и пять раз подряд предъявляются на телевизионном экране по два различных объекта для ознакомления с формулярами, с временными условиями деятельности, с пультом испытуемого и т. д.

По сигналу «Внимание» испытуемому предъявляется на телевизионном экране некоторое количество движущихся объектов (любое от двух до десяти) в случайном порядке и включаются все секундомеры. При включении испытуемым тумблера выключается соответствующий секундомер. При правильном решении задачи экспериментатор выключает соответствующий объект с экрана. После решения каждой задачи экспериментатор снимает показания с секундомеров по каждому объекту, регистрирует правильность или неправильность решения задачи и берет краткий отчет у испытуемого о способе решения данной задачи. В протоколе эксперимента должны быть отмечены: порядковый

номер задачи, количество предъявленных объектов, правильное решение, решение испытуемого, время «обработки» каждого объекта и словесный отчет испытуемого.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

1. Определить среднее значение общего времени ($\bar{T}$) решения каждого типа предъявляемых задач (тип задач определяется количеством объектов в одном направлении):

$$\bar{T} = \frac{\sum_{i=1}^{i=N} T}{N},$$

где N — число решений задач данного типа.

2. Определить среднее значение времени на «обработку» одного объекта

$$\bar{t}_0 = \frac{\bar{T}}{n},$$

где n — количество целей в задаче данного типа.

3. Определить среднее значение времени ($\bar{t}_j$) подготовки решения по каждому (по первому, по второму и т. д.) объекту для каждого типа задач:

$$\bar{t}_j = \frac{\sum_{j=1}^{j=N} t_j}{N}.$$

4. Определить безошибочность решения каждого типа задач:

$$P = \frac{m}{N},$$

где m — число правильно решенных задач данного типа.

5. Построить графики:

- изменения $\bar{T}$ от количества объектов в задаче,
- изменения $\bar{t}_0$ от количества объектов в задаче,
- изменения $\bar{t}_j$ от количества объектов в задаче,
- изменения P от количества объектов в задаче.

На основе графиков сделать содержательный анализ влияния количества объектов на время и безошибочность принятия решений.

6. Определить количество используемых стратегий по каждому типу задач и сделать попытку их классификации.

7. Определить частоту использования каждой стратегии для каждого типа задач.

8. Сделать качественный анализ влияния количества объектов в задаче на выбор стратегии решения.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объяснить значение этапа принятия решения в деятельности оператора-диспетчера.

2. Перечислить основные факторы, влияющие на эффективность деятельности оператора-диспетчера.

ЛИТЕРАТУРА

1. А б ч у к В. В. Введение в теорию выработки решений. М., 1972; с. 9—22.
2. Дру ж и н и н В. В., К о н т о р о в Д. С. Идея, алгоритм, решение. М., 1972, с. 111—146.
3. Т и х о м и р о в О. К. Структура мыслительной деятельности человека. М., 1969, с. 12—34.
4. Б е р е з к и н Б. С., Г а а з е - Р а п о п о р т М. Г., С м о л я н Г. Л. Общая характеристика процессов принятия решения.— В кн.: Эргономика. Труды ВНИИТЭ, 1971, № 3, с. 7—47.

ЗАДАНИЕ 14. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЛЕЖЕНИЯ ОТ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ФУНКЦИЙ ОБЪЕКТОВ И СПОСОБОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Основным объектом исследования инженерной психологии является система «человек — машина», которая рассматривается как частный случай управляющих систем. В системах такого рода человек и машина образуют единый контур регулирования. Разновидностью замкнутых систем автоматического регулирования являются так называемые следящие системы. Одним из признаков следящих систем является непрерывное изменение величины сигнала управления в зависимости от величины рассогласования между действительным положением объекта и заданным. Задача следящей системы — сведение, несмотря на воздействие внешних возмущений, этой разницы к нулю.

В системах ручного слежения оператор действует в основном как «корректор ошибки», поэтому его задача сравнима с задачей, которую решает сервомеханизм.

Слежение является специальным видом процесса регулирования, оно выступает как динамический процесс сенсомоторных координаций. Операции слежения делятся на две основные категории: 1) *преследующее* слежение, при котором мишень подвижна, а оператор наблюдает непосредственное изменение ее и своего управляющего воздействия; 2) *компенсаторное* слежение, при котором мишень неподвижна, а оператор наблюдает лишь различие (ошибку) между мишенью и отметкой. И в том, и в другом случае он стремится свести рассогласование к минимуму.

В зависимости от количества отметок (объектов, параметров наблюдения) слежение может быть одномерным или многомер-

ным. Блок-схема одномерного компенсаторного слежения представлена на рис. 16.

Термин «слежение» в инженерной психологии употребляется в двух основных значениях. Во-первых, под слежением понимается сенсомоторная реакция, для которой существенными являются следующие моменты: 1) внешне запрограммированный входной сигнал определяет моторную реакцию оператора, воздействующего на орган управления; 2) орган управления генерирует выходной сигнал; 3) разность входного и выходного сигналов определяет величину ошибки в процессе слежения. Задача оператора заключается в сведении этой ошибки до минимума.

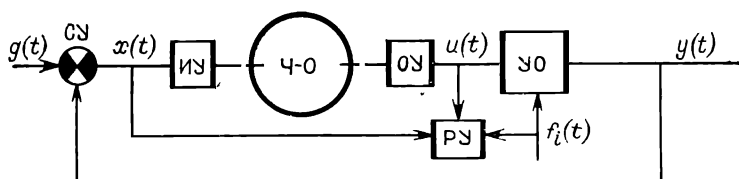


Рис. 16. Блок-схема компенсаторного слежения.

ЧО — человек-оператор; ОУ — орган управления; УО — управляемый объект; ИУ — индикатор; СУ — сравнивающее устройство; РУ — регистрация; $g(t)$ — задающее воздействие; $y(t)$ — управляемая величина; $u(t)$ — управляющее воздействие; $f_i(t)$ — возмущения; $x(t)$ — ошибка.

Во-вторых, под слежением понимается деятельность человека по управлению динамическим объектом, имеющая целью минимизацию рассогласования между выходом объекта и входом системы «оператор — объект управления». Эта деятельность может осуществляться посредством самых разнообразных моторных реакций, в том числе и дискретных, и включает в себя элемент принятия решения. Анализ деятельности в условиях слежения дает возможность полнее раскрыть механизм психической регуляции деятельности.

Цель занятия — на модели деятельности человека-оператора в режиме одномерного компенсаторного слежения определить зависимость показателей слежения (время инерции, время нахождения на цели, среднеквадратичная ошибка, плавность) от передаточных функций объектов и способов регулирования.

Перечислим некоторые основные показатели слежения.

Время нахождения на цели (устойчивость слежения.) В течение этого времени отметка находится на цели. Величина его является основной характеристикой деятельности слежения оператора. Остальное время слежения затрачивается на поиски и корректирование ошибок.

Из отношения времени нахождения на цели ($t_{\text{ц}}$) к общему времени (t_0) определяется параметр устойчивости слежения:

$$d(t) = \frac{t_{\text{ц}}}{t_0}.$$

Величина средней ошибки слежения, определяемая по расстоянию между отметкой и мишенью в каждый момент слежения. Одной из простейших мер слежения является средняя ошибка по положению. При измерении больших ошибок вместо средней ошибки используется функция квадратичной ошибки, например среднеквадратичная ошибка (СКО) или корень среднеквадратичной ошибки:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n x_i,$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2,$$

где $\bar{x}$ — средняя ошибка; x_i — величина ошибки; N — число измерений; σ^2 — среднеквадратичная ошибка.

Способы регулирования при слежении (передаточная функция органов управления).

1. Прямая (позиционная, линейная) система регулирования нулевого порядка. Соотношение между перемещениями органа управления и соответствующего ему сигнала постоянно. По этому соотношению можно определить постоянное для данной системы передаточное число:

$$x_s = kx_0,$$

где x_s — «выход» оператора; x_0 — «вход» системы; k — передаточное число (коэффициент усиления).

2. Содействующее слежение. Функция движений управления промежуточная — включение; они освобождают энергию, идущую от внешнего источника:

а) скоростное регулирование (связь первого порядка). Движение управления вызывает перемещение соответствующего ему сигнала (отметки) и вместе с тем придает ему скорость, величина которой зависит от амплитуды этого перемещения:

$$x_s = k \int x_0 dt;$$

б) ускорительное регулирование (связь второго порядка)

$$x_s = k \int \int x_0 dt.$$

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Установка позволяет реализовать ситуацию одномерного компенсаторного слежения при управлении динамическим объектом (описываемого передаточной функцией 0, 1 и 2 порядка) с выбором способов регулирования (I, II, III). Блок-схема установки показана на рис. 17.

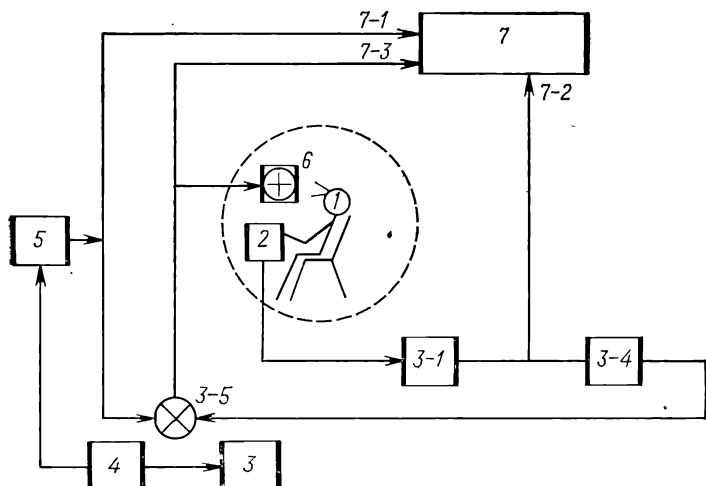


Рис. 17. Блок-схема установки.

1 — человек-оператор; 2 — орган управления — пропорциональный регулятор, угол отклонения которого определяет величину управляющего воздействия; 3 — аналоговая вычислительная машина МН-7 м. Блок 3-1 реализует характеристики объекта управления (0, 1 и 2 порядка); 3-4 — динамические характеристики объекта управления (0, 1 и 2 порядка); 3-5 — автоматическое вычисление ошибки слежения по положению; 4 — блок питания ВЭС-1; 5 — блок программ (возмущений) выдает на вход сигнал в виде ступенчатой функции из 30 чисел, случайно распределенный по частоте (1—5 Гц) и амплитуде ($0 \pm 1,5$ В); 6 — индикатор И-6, позволяющий визуально наблюдать мишень (крест) в центре координатной сетки экрана и отметку — движущуюся по оси X световую точку ($\varnothing = 1-2$ мм); 7 — регистрация (автоматическая) чернильный 3-канальный самописец Н-3020-3; 7-1 — канал записи входного сигнала; 7-2 — канал записи управляющего воздействия; 7-3 — канал записи выходного сигнала; состояние объекта управления в данный момент (ошибка по положению).

Таблица 8

Набор программы на ЭВМ

Функциональная схема	Объект управления			Способ регулирования			Программа возмущений	Самовозмущение
	Порядок*			Порядок*				
	0	1	2	0	1	2		
1	×			×			×	
2		×		×			×	
3			×	×				×
4			×	×			×	
5		×			×		×	
6			×		×			×
7			×		×		×	
8			×			×	×	

* Передаточная функция.

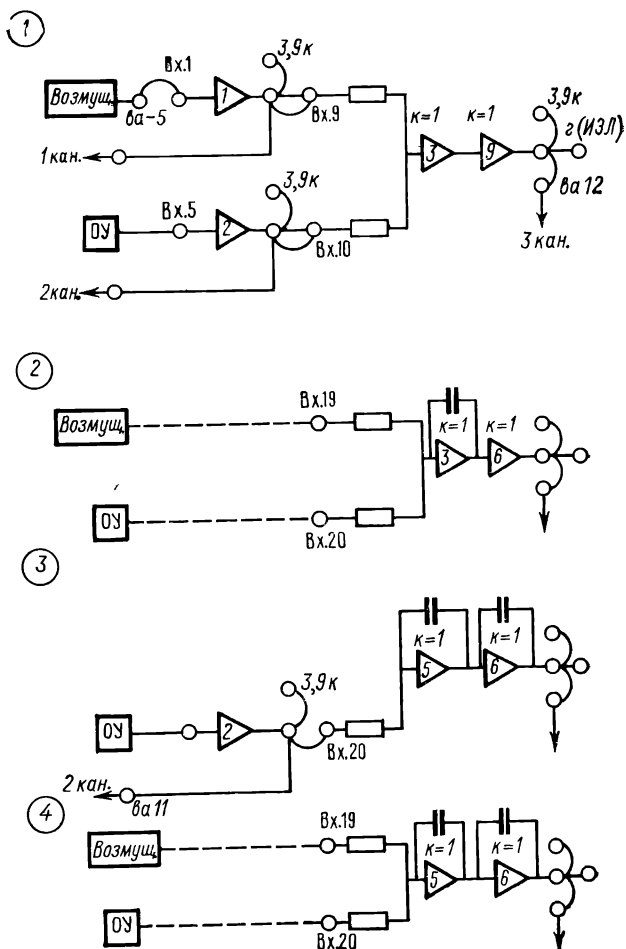


Рис. 18. Примеры набора функциональных схем на МН-7м.

Условные обозначения см. по техническому описанию аналоговой вычислительной машины МН-7 м.

Изменение передаточной функции объекта и способа регулирования осуществляется набором функциональной схемы на коммутационном поле электронной аналоговой машины МН-7м (рис. 18). Выбор схемы осуществляется с помощью специальной таблицы (табл. 8).

МЕТОДИКА

В зависимости от поставленной задачи исследования выбирается по таблице и набирается на ЭВМ функциональная схема № 1—8. В условиях с ограниченным временем лабораторной работы и нетренированными операторами рекомендуется последовательно выбрать схемы № 1, 2, 3 (рис. 18).

Последовательность выполнения работы следующая:

1. Произвести внешний осмотр установки. Проверить наличие заземления. Запрещается работать при неисправном заземлении!

2. Включить блок питания ВЭС-1. Через 20—30 мин установка готова к работе.

3. Проверить наличие чернил в перьях самописца Н-3020-3. Сделать пробную запись. На ленте самописца (в начале) написать фамилию оператора и дату проведения лабораторной работы.

4. Установить переключатель режимов работы в положение «Исходное».

5. Выходной сигнал (отметку) с помощью органа управления совместить с мишенью, расположенной в центре индикатора.

6. Включить мотор самописца.

7. Установить переключатель режимов работы в положение «Программа».

8. На экране индикатора И-6 (рис. 19) оператор видит неподвижную мишень и сигнал рассогласования, изменяющийся по оси X . Оператор управляет выходным сигналом с помощью потенциометрического пропорционального датчика. Задача: удерживать отметку с помощью органа управления в центральной зоне индикатора с допустимым разбросом $b \pm 15$ угл. мин. Не допускать отклонения отметки за пределы экрана.

9. Через 3 мин программа автоматически выключается.

10. Доложить руководителю о проделанной работе.

11. Произвести самооценку: поставьте точку на экране индикатора И-6 (рис. 19) в том месте на оси X , где, по Вашему мнению, чаще всего находилась отметка в процессе выполнения задачи.

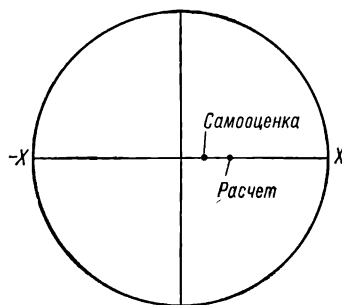


Рис. 19. Экран индикатора И-6

ВЫЧИСЛЕНИЯ. СОСТАВЛЕНИЕ ОТЧЕТА

В задачу обработки результатов лабораторной работы входит:

1. Нахождение числовых характеристик (моментов) случай-

ной величины (ошибки), основными из которых являются математическое ожидание ($\bar{x}$) и дисперсия (σ). Величина ошибки (мм) измеряется по третьему каналу записи Н-3020-3; результаты измерений и вычислений сводят в таблицу.

2. Сравнение выборок (1, 2, 3). Требуется определить, являются ли различия между СКО случайными или закономерными. Различие считается существенным, т. е. неслучайным, если выполняется условие

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} > F_{1-\rho}(f_1 \cdot f_2),$$

где σ_1 — везде относится к выборке с большим СКО; F — случайное значение величины, подчиненной распределению Фишера с f_1 и f_2 степенями свободы; $F=1,6$ (при уровне значимости $\rho=0,05$).

3. Определение устойчивости слежения:

$$d(t) = \frac{t_n}{t_0}.$$

Здесь $t_0=3$ мин — общее время слежения; t_n — время нахождения на цели;

$$t_n = \sum t_i = \frac{\sum l_i}{v};$$

l_i — величина отрезка (в миллиметрах), когда записи кривых мишени и отметки совпадают (± 3 мм), определяется по третьему каналу регистрации; $v=2,5$ мм/с — скорость движения ленты самописца.

4. Сравнение расчетных данных п. 1 с самооценкой.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Насколько удачной мерой являются используемые в данной работе показатели слежения?

2. Как зависят типы движения органа управления от характеристик объекта?

3. Какому способу адаптации следует человек-оператор при слежении?

ЛИТЕРАТУРА

1. Адамс Д. Поведение человека-оператора в процессе слежения. — В кн.: Инженерная психология. М., 1964, с. 476—516.

2. Нафтульев А. И. О математической модели деятельности человека-оператора в задачах слежения. — В кн.: Теоретическая и прикладная психология в ЛГУ. Л., 1969, с. 192—194.

3. Поултон Е. Простые методы измерения ошибок в слежении. — В кн.: Инженерная психология за рубежом. М., 1967, с. 344—358.

4. Таран А. В., Щербак В. И., Эглит В. И., Хохлов И. И. Автоматическая оценка качества эргатического процесса слежения. — «Вопросы психологии», 1974, № 1, с. 154—156.

ЗАНЯТИЕ 15. ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ СТРАТЕГИИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРИ НА- ГЛЯДНО-ОБРАЗНОЙ ФОРМЕ ПРЕДСТАВ- ЛЕНИЯ СИТУАЦИИ

В связи с широким внедрением автоматизированных систем управления в деятельности операторов возросла роль этапа «принятия решений». Это обстоятельство делает актуальным вопрос о выяснении влияния различных факторов на процесс формирования стратегий принятия решений. Приводимые ниже два практических занятия позволяют студентам ознакомиться с методиками, направленными на выяснение влияния фактора «подсказки» на этот процесс. Под «подсказкой» понималось предъявление дополнительной информации извне о наилучшем ходе в данной ситуации. Для уяснения смысла предлагаемых методик необходимо сделать несколько предварительных замечаний.

Процесс принятия решений оператором в автоматизированной системе управления в общем случае можно свести к следующим обобщенным функциям: 1) диагностическая функция, основное назначение которой прогноз и поиск конфликтных ситуаций; 2) функция планирования и выбора курса действий — функция решения проблем. Основное назначение ее — проверка возможных решений и выбор лучшего из них; 3) функция реализации решения.

Деятельность оператора АСУ (диспетчера) характеризуется неопределенностью, возникающей в связи с изменениями в окружающей среде, причинами которых могут быть, во-первых, характер действий самого диспетчера; во-вторых, действия других операторов и, в-третьих, объективные воздействия, такие как изменения в технологических процессах, в снабжении и т. п. Для успешного выполнения своих функций диспетчер должен прогнозировать возможные изменения той среды, в которой действует управляемый им объект, и с учетом этих изменений планировать свою деятельность таким образом, чтобы обеспечить точность и надежность работы всей системы. Другими словами, в деятель-

ности диспетчера постоянно возникают ситуации «игры» с воздействиями окружающей среды. В этой связи представляется целесообразным для исследования процесса формирования стратегий диспетчером использовать игры.

Под игрой обычно понимают некоторый вид соревнования, характеризующийся системой правил, определяющих поведение игроков, момент окончания игры и ее результат. С учетом процесса принятия решений диспетчером общие требования к игре могут быть сформулированы следующим образом:

- игра должна быть достаточно сложной, чтобы вызвать интерес, но и не такой трудной, чтобы она требовала значительной подготовки. В то же время она в определенной мере должна психологически моделировать реальную деятельность;

- игра должна быть относительно легко реализована на несложном техническом оборудовании;

- последовательность построения игры должна быть достаточно понятной.

Сформулируем еще некоторые специальные требования, увязывая их с процессом принятия решения диспетчером.

Принимая решение, диспетчер должен исходить как из текущих требований данной ситуации, так и из тех ситуаций, которые могут возникнуть в будущем. При этом диспетчер оперирует внутренними «концептуальными» представлениями управляемых объектов и их связей, которые содержательно определяют протекание внутренних мыслительных процессов. По мнению ряда исследователей, основную задачу диспетчера можно рассматривать как задачу категоризации. Вообще говоря, категоризация может осуществляться путем комбинирования значений свойств объектов управления. Здесь для нас важно отметить, что комбинирование свойств может осуществляться диспетчером с опорой на наглядно-образное представление ситуаций. В то же время значительная часть работы по категоризации должна выполняться диспетчером только на основе абстрактно представляемых свойств объекта. Эти различия необходимо учитывать при разработке методики и выборе игр. Поэтому для практических занятий требовались игры, которые могли бы (в определенной степени) моделировать как наглядно-образные формы, используемые в качестве опоры в процессе решения задач по управлению, так и ситуации с абстрактно представляемыми свойствами.

Второе обязательное требование к играм, используемым в практических работах, вытекало из того очевидного факта, что «подсказка» должна быть абсолютно достоверной для данной ситуации. Другими словами, для игр должен был существовать (или быть разработан) алгоритм точной игры. Под алгоритмом точной игры понимается алгоритм, который, если во время игры руководствоваться только им, ведет неукоснительно к достижению цели.

Третье требование определяет ситуации, которые могли встре-

таться в играх. В данном случае было принято, что должны встречаться ситуации только двух видов: 1) обеспеченный (при правильной игре игрока) выигрыш; 2) беспорный (при правильной игре противника) проигрыш.

Таким образом, если игрок будет пользоваться алгоритмом точной игры, он при ситуации обеспеченного выигрыша добьется его за наименьшее число ходов, а в случае ситуации беспорного проигрыша — проиграет за наибольшее число ходов или при ошибке противника перейдет к самой лучшей из ставших возможными ситуации. Именно эти положения и должны были определить *цель игры* и соответственно стратегию игрока. Выполнение цели игры является основным фактором, определяющим всю проблему. Было бы заблуждением считать, что цель игры определяется тривиально. Реализация только элементарной цели игры — выигрыша — может оказаться ошибочной, дезорганизующей выработку стратегии. Выполнение цели игры — это эталон, по которому оценивается процесс формирования стратегии. Таким образом, степень приближения к алгоритму точной игры (заранее известного экспериментатору) и может рассматриваться как степень (уровень) формирования стратегии.

Для выбранных игр упомянутый алгоритм существует и достаточно легко практически реализуется с помощью специальных устройств — автоматов. Конкретные реализации алгоритмов точной игры будут представлены ниже, при описании соответствующих методик.

Сформулированным выше требованиям в значительной мере удовлетворяют две игры: одна из них представляет разновидность известной игры «Ним», другая условно называется «Счет». Описание процедуры игр будет дано при изложении методик. Здесь же целесообразно высказать несколько общих для используемых игр соображений. Любая из игр протекает следующим образом. Заранее разработанный точный алгоритм реализуется в специальном автомате. Затем в память автомата вводится описание начальной позиции. Устанавливается право первого хода. Если первый ход принадлежит игроку, которому предъявляется «подсказка», то, выполняя программу, автоматы вычисляют его. После хода игрока результат этого вычисления может быть ему предъявлен. Одновременно автоматы запоминают новую позицию. После ответного хода другого игрока, который экспериментатором вводится в автомат, вычисляется следующий ход и т. д. Если первый ход принадлежит игроку, играющему без «подсказки», то автоматы «ждут» до тех пор, пока экспериментатор введет информацию о ходе противника. Дальнейшее течение игры одинаково.

Таким образом, «подсказка», роль которой изучается на практических занятиях, представляет по своему содержанию не объяснение игроку способа решения задачи, а демонстрацию отдельных ходов при решении этой же задачи другим игроком,

действующим безошибочно, без объяснения смысла этих действий.

Предлагаемые игры подчиняются общим правилам наилучшей игры. Эти правила можно установить, воспользовавшись следующей процедурой. Отберем все позиции, которые при ходе игрока А приводят к немедленному проигрышу игрока В и отнесем их к классу 0. Далее отберем все позиции, обеспечивающие при ходе игрока В немедленный его выигрыш, и отнесем их к классу 1. Для каждой позиции класса 1 существует хотя бы один ход, превращающий ее в позицию класса 0. Потом отберем все позиции, которые при любом ходе игрока В превращаются в позицию класса 1, и отнесем их к классу 2. Продолжим этот процесс, пока не просмотрим все позиции. При этом, формируя каждый раз класс с нечетным номером, будем включать в него все позиции, каждая из которых допускает только ходы, ведущие к позициям, принадлежащим уже сформированным классам с четными номерами. Обозначим наибольший полученный номер класса через M . Из самого способа классификации видно, что если перед игроком В возникла позиция, принадлежащая классу с нечетным номером $n (n \leq M)$, то при правильной игре он выиграет за n полуходов (за ход считается ход+ответ противника)

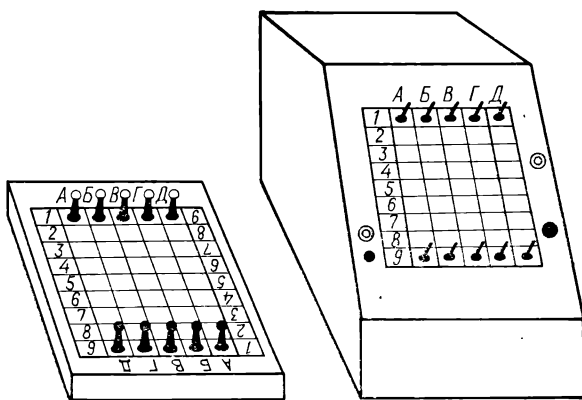


Рис. 20. Общий вид экспериментальной установки.

или даже быстрее. Наилучшим ходом при этом будет любой ход, в результате которого для противника возникнет ситуация, входящая в класс номера $n-1$ (четный). Если перед игроком возникла ситуация с четным номером $m (m \leq M)$, то при правильной игре противника выигрыш невозможен.

Теперь легко сформулировать правило наилучшей игры (алгоритм точной игры) для наших игр.

1. Просмотрев классы позиций, начиная с класса 0, найти свою позицию. По номеру класса, к которому она относится, узнать заранее возможный исход партии.

2. Перебрав возможные ходы, найти наилучший ход, т. е. ход, ведущий к позиции класса, номер которого на единицу меньше.

Проиллюстрируем этот алгоритм на примере игры в «Ним». Экспериментальная установка для игры показана на рис. 20. Сначала дадим количественную интерпретацию алгоритма точной игры.

Будем обозначать расстояние между белыми (игрок А) и черными (игрок В) фишками в двоичном коде. Тогда исходная позиция для игры «Ним» может быть записана следующим образом:

1	1	1
1	1	1
1	1	1
1	1	1
1	1	1

Примем условие, что четную сумму единиц в каждом столбце будем обозначать через 0, а нечетную — через 1. Количественное выражение алгоритма точной игры в этом случае следующее: выигрыш обеспечен тому игроку, который своим ходом может создать позицию, где сумма единиц в каждом столбце будет четной, т. е. будет в принятых обозначениях составлять 000. Тогда позиция на рис. 20 будет принадлежать к классу с номером m (четным номером) при ходе игрока А. Легко видеть, что ход A_1-A_8 приводит к требуемому значению суммы 000, а полученная относится к классу $m-1$. Подобным же образом можно получить правило точной игры для всех вариантов игры «Счет».

В психологической литературе выделяют следующие случаи, которые могут возникнуть в процессе решения задач:

— когда методы решения не открыты, а поэтому они не могут быть известны решающему. В этом случае мы имеем научную задачу-проблему;

— когда методы открыты, но неизвестны решающему. В этом случае мы имеем субъектную задачу-проблему;

— метод решения данной задачи объективно существует и известен решающему. Тогда мы имеем задачу-упражнение.

В наших экспериментах сначала для всех испытуемых игра выступает как субъектная задача-проблема; по мере выработки стратегии игра становится задачей-примером. Однако следует оговорить, что в нашем случае (за исключением, пожалуй, ряда ситуаций в игре «Счет») любая задача оставалась задачей «Неточной», т. е. для ее решения нужно было произвести переработку столь большого количества информации, что игроки ее реально не могли выполнить. Невозможность произвести переработку всей информации равноценна отсутствию определенной ее части.

Учитываемая в той или иной игре информация, естественно, была ограниченной и неполной. Поэтому целесообразно соотносить уровень выработки стратегии для игры «Ним» не непосредственно с алгоритмом точной игры, а с его частными реализациями. Для игры «Ним» такой частной реализацией служило требование симметричности позиции при четном числе фишек. Нетрудно убедиться, что любая ситуация, включающая такие позиции, даст сумму 000. Так как нахождение этой частной реализации точного алгоритма осуществляется с опорой на наглядный (плоскостной) образ ситуации, игра «Ним» и служит моделью той части деятельности диспетчера, которая осуществляется с опорой на наглядно-образные формы представления ситуации.

Следует сделать несколько замечаний собственно по процедуре экспериментального исследования. Значение фактора знания результатов является общепризнанным. Однако ясно и то, что, во-первых, сообщение о результате деятельности не даст желаемого эффекта, если субъект не знает, как интерпретировать получаемую информацию, и, во-вторых, информация о результатах деятельности может оказаться излишней, если субъект сам в состоянии идентифицировать эти результаты. Можно согласиться с часто высказываемым мнением, что действенность обратной связи по результату повышается в том случае, когда субъекты осознают смысл и структуру сравниваемых ответов. Анализ психологической литературы позволяет сделать вывод, что эффективность использования для решения задачи «подсказок» зависит от «продвинутости» собственного анализа задачи человеком. Лишь по мере того, как человек раскрывает систему связей и отношений, в которых находится анализируемый объект, он начинает замечать и анализировать новые, еще неизвестные признаки этого объекта. И, наоборот, пока он не начнет сам раскрывать систему таких связей, он не обратит никакого внимания на новое и нужное для решения свойство, даже если ему подсказать его. Лишь тогда, когда человек сам вплотную подходит к подсказываемому звену решения, он оказывается в состоянии принять помощь со стороны. Иначе он просто не поймет «подсказку» и потому не примет ее или же она будет использована чисто формально. Действительную помощь может оказать только та «подсказка», которая естественно включается в соответствующую систему связей и отношений, к данному моменту уже достаточно проанализированную самим обучающимся. Тогда «подсказка» включается в его мышление как частичный ответ на вопрос, который он себе поставил уже и над которым напряженно думал. Если она таким образом принимается человеком и используется им для дальнейшего продвижения вперед процесса решения задачи, то это является объективным свидетельством того, что его мышление достигло более высокого уровня. И, наоборот, непринятие той же «подсказки», неумение ее использо-

вать означает, что мыслительный процесс находится пока на более низком уровне (см. [2, с. 55—57]).

Эти факты свидетельствуют о том, что для наиболее продуктивного использования «подсказки» необходимо предварительное выявление тех этапов в процессе решения задач, на которых предъявление «подсказки» даст наибольший эффект. Возможно, что для разных испытуемых момент начала этих этапов и их длительность будут сильно варьировать, так как между обучающимися имеются различия в скорости формирования ими мыслительной стратегии.

«Следует учитывать также тот факт, что внутренний учет результата деятельности не всегда имеет форму рациональной обработки данных. Во многих случаях он выступает в виде «внутренней» уверенности в правильности результата. Такое предположение подтверждается как результатами исследований, согласно которым изменение частотности и типа внешней информации обратной связи о результате деятельности не влияет существенно на результат процесса учения, если в ситуации содержится достаточное количество ключей, позволяющих предвосхищать правильный ответ, так и рядом наблюдений, согласно которым многие, особенно сильные или самоуверенные обучающиеся, зачастую игнорируют информацию обратной связи, руководствуясь исключительно внутренней уверенностью в правильности своих ответов» [6, с. 11].

Таким образом, представляется интересным исследовать характер обращения испытуемых к «подсказке» при формировании стратегии. Все вышесказанное позволяет сделать вывод о том, что в процессе экспериментального исследования организации процесса «подсказки» сама должна рассматриваться как независимая переменная.

Основные вопросы, которые исследуются на практических занятиях по проблеме формирования стратегий в процессе принятия решений, можно сформулировать так.

1. Каковы особенности формирования стратегии решения задач в зависимости от того, предъявляется испытуемому дополнительная информация в виде «подсказки» или нет?

2. Какая «подсказка» является более эффективной:

— предъявляемая по желанию испытуемого или же «навязываемая» ему по усмотрению экспериментатора;

— прямая, когда испытуемый может взять свой ход обратно и воспользоваться «подсказкой» непосредственно в данный момент, или же косвенная, без возможности возврата хода, когда дополнительная информация используется для анализа данной ситуации и может быть учтена в последующих играх?

3. На каких этапах обучения предъявление «подсказки» наиболее целесообразно?

4. Как влияет количество «подсказок» на ход выработки стратегии?

5. На каких шагах (ходах) решения каждой из задач потребность в дополнительной информации наибольшая?¹

Анализ специальной литературы позволяет сделать заключение о целесообразности для проверки и оценки сформированности обобщенной эффективной стратегии решения некоторого класса задач использовать либо контрольный тест в виде нового проблемного задания, либо «предельные» задачи, т. е. такие, которые не могут быть решены в заданное время в том случае, если стратегия недостаточно отшлифована. Поэтому такие предельные задачи-тесты были разработаны для игровых экспериментальных методик. Более конкретно о них будет сказано ниже.

Итак, целью настоящего практического занятия является исследование влияния фактора «подсказки» на процесс формирования стратегии решения задач при наглядно-образной форме представления ситуации.

МЕТОДИКА

Опыты проводятся с помощью игровой методики, представляющей собой модификацию игры «Ним». Перед испытуемыми располагается игровое поле размерами 5×9 клеток. Количество фишек — по пять у каждого игрока.

Правила игры заключаются в следующем: каждый из игроков может перемещать по полю свои фишки вперед и назад на любое количество клеток, но только по одной, исходной для каждой фишки вертикали (А, Б, В, Г или Д). Перепрыгивать через фишки противника не разрешается. Цель игры состоит в том, чтобы «запереть» все фишки противника, т. е. лишить его возможности продолжать игру. Иными словами, выигрывает тот, кто делает в игре последний ход.

Однако партия не обязательно доигрывается до ситуации, когда у одного из противников отсутствует возможность ходить. Прервать партию может испытуемый, который считает, что позиция у него уже является поигрышной, т. е. независимо от его ходов противник доведет игру до победы, и надеяться на ошибку противника бесполезно. Право первого хода в первой партии разыгрывается между испытуемыми. В последующих партиях они начинают игру попеременно.

Предъявление так называемой «подсказки» осуществляется с помощью специальной экспериментальной установки — игрового автомата. На экспериментальной установке работает группа из четырех студентов: два испытуемых и два экспериментатора. Один из экспериментаторов воспроизводит на установке каждую игровую ситуацию, возникающую на поле испытуемых после хода противника, играющего без «подсказки». Затем с по-

¹ В методиках, описанных ниже, рассматриваются только условия навязанной после каждого хода «подсказки» с возможностью возврата хода не более двух раз за партию для игры «Ним» и не более раза — для игры «Счет».

мощью игрового автомата определяется наилучший ход в данной ситуации. (На панели автомата загорается лампочка в той клетке поля, куда был бы сделан наилучший ход.) Таким образом, «подсказка» — это предъявление дополнительной информации, которая представляет собой демонстрацию безошибочных шагов решения без объяснения их смысла. Следует отметить, что при объективно проигрышной ситуации автомат определяет как наилучший ход вперед на одну клетку, оттягивающий поражение.

Итак, один из экспериментаторов непосредственно работает с игровым автоматом. Второй экспериментатор фиксирует с помощью ручного секундомера время обдумывания ходов испытуемыми. Каждая пара испытуемых должна сыграть 20 партий. «Подсказка» предъявляется одному игроку (А) в течение первых 10 игр, а второму (В) — в течение вторых 10 игр.

Игра с использованием «подсказки» протекает следующим образом. Испытуемый, играющий с «подсказкой», записывает свой предполагаемый ход в протокол, затем получает «подсказку» и тоже записывает ее. После анализа «подсказки» испытуемый может ее использовать, сделав ход, «подсказанный» автома-

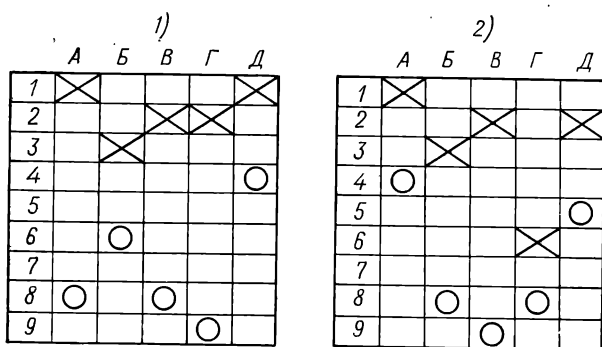


Рис. 21. Варианты «предельных» задач.
Кружками и крестиками обозначены фишки испытуемых.

том, или сделать ранее намеченный ход. «Подсказка» предъявляется испытуемому после каждого хода, но испытуемый имеет возможность использования «подсказки» (возврат хода) не более двух раз в каждой партии. При использовании «подсказки» требуется зачеркнуть свой ход.

Задача испытуемых заключается в том, чтобы в течение 20 партий на основе анализа игровых ситуаций, своих действий, «подсказки», а также действий противника понять смысл «подсказок» и выработать оптимальную (с их точки зрения) стратегию игры.

Если можно предположить, что кто-то из испытуемых выработал стратегию, то необходимо проверить выдвинутое пред-

положение с помощью «предельной» задачи. Испытуемому предлагаются две позиции, отличные от начальной, причем одна из них одним ходом сводится к симметричной, а вторая — нет. Требуется сделать первый ход из предложенных позиций. Очевидно, в первом случае при понимании принципа симметрии, а не частного принципа игры только из «нулевой» начальной ситуации испытуемый создаст на доске симметричную позицию. Во втором случае такой испытуемый сделает ход, приводящий к ситуации, в которой и его соперник не сможет создать симметрию.

Например, предлагаются позиции, изображенные на рис. 21. Для игрока, фишки которого отмечены крестиками, оптимальный ход в первой ситуации — B_{27} . Во втором случае возможны несколько вариантов: A_{12} , A_{13} , B_{23} и т. д.; ошибочные ходы здесь B_{37} , G_{67} и т. д.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

В ходе эксперимента испытуемые фиксируют собственные ходы, количество ходов, результат игры, сколько раз в партии и на каких ходах использовалась «подсказка», результаты самонаблюдения. Эти данные заносятся в протокол.

Образец протокола испытуемого

№ партии*	№ хода	Свой ход	«Подсказка»	Результат	Примечание
1 +	1	A_{18}	A_{18}	П	
	2	B_{18}	B_{17}		
	3	D_{17}	B_{12}		
	4	D_{71}	B_{12}		
2					
.					
.					
.					
20					

* Крестиком обозначается право первого хода. В графе «результат» записывается В или П (выигрыш или проигрыш).

Экспериментатор, работающий с ручным секундомером, фиксирует время обдумывания испытуемыми каждого хода, а также свои наблюдения. Для обработки экспериментальные данные заносятся в таблицу вида

№ игры	В/П	Число ходов*	Число возвратов хода	Ходы, на кот. осуществлен возврат хода	Время игры*	Средн. время на ход*	Число ошибок*	Средн. число ошибок*	Выработка стратегии
1	В	5	2	2,3	148	29,6	2	0,4	—
.									
.									
.									
20									

Обработка полученных данных осуществляется в таком порядке.

1. Определить процентное соотношение выигрышей и проигрышей в каждой половине эксперимента.

2. Для каждой половины эксперимента (каждых десяти партий) подсчитать:

- среднее количество ходов в партии;
- среднее время игры одной партии;
- среднее время обдумывания одного хода;
- среднее количество ошибок в партии;
- среднее количество ошибок, приходящееся на один ход.

3. Проследить изменение частоты использования «подсказки» в зависимости от номера игры и номера хода, заполнив таблицу вида

№ хода	№ игры												
	1	2	...	10	Σ_1	%	11	...	20	Σ_2	%	$\Sigma_{общ}$	%
1													
2													
.													
.													
.													
.													
Σ													
%													

4. Проверить достоверность различий между значениями показателей, отмеченных звездочкой в первой таблице, в первых

и вторых десяти играх с помощью непараметрического *V*-критерия Вилкоксона — Манна — Уитнея.

Каждая группа из четырех студентов представляет отчет по лабораторному занятию. Отчет должен содержать следующие пункты.

1. Тема лабораторного занятия.
2. Цель лабораторного занятия.
3. Ф. И. О. испытуемых и экспериментаторов, их курс, группа.
4. Протоколы испытуемых по всем 20 партиям.
5. Сводная таблица результатов для каждого испытуемого.
6. Результаты статистической обработки. Во второй таблице должны быть сведены экспериментальные данные двух испытуемых. Игроки А заполняют левую половину табл. 2 (с 1-й по 10-ю партию); игроки В — правую половину табл. 2 (с 11-й по 20-ю партию).
7. Анализ полученных результатов. Он включает следующие моменты: а) на основе обработанных данных проанализировать изменения значений показателей скорости, точности и успешности (В/П) игры в зависимости от того, выработана стратегия или нет; б) определить, когда потребность испытуемых в дополнительной информации извне при решении предлагаемых задач наиболее велика: в каких партиях, на каких ходах; в) сопоставить полученные результаты с литературными данными.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Для каких целей возможно использование игр в инженерно-психологических исследованиях?
2. Какое влияние оказывает «подсказка» на процесс решения задач?

ЛИТЕРАТУРА

1. Ашмарин И. П., Васильев Н. Н., Амбросов Б. А. Быстрые методы статистической обработки и планирование экспериментов. Л., 1975, с. 14—15.
2. Брушлинский А. В. Психология и кибернетика. М., 1971. 191 с.
3. Матюшкин А. М. Проблемные ситуации в мышлении и обучении. М., 1972. 169 с.
4. Пушкин В. Н. Об изучении мышления как процесса. — «Вопросы психологии», 1969, № 6, с. 20—36.
5. Рубинштейн С. Л. О мышлении и путях его исследования. М., 1958. 146 с.
6. Кулич В. Адекватность субъективного учета результата деятельности в процессе учения и решения задач. — В кн.: Новые исследования в психологии. Вып. 2. М., 1975, с. 11—13.

ЗАНЯТИЕ 16. ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ СТРАТЕГИИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРИ АБСТРАКТНОЙ ФОРМЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СИТУАЦИИ

Общие замечания, касающиеся вопроса формирования стратегий в процессе принятия решений, рассматривались в предыдущем занятии. Было показано, что деятельность диспетчера по принятию решений осуществляется как с опорой на наглядно-образные формы представления ситуации, так и с учетом абстрактно представляемых свойств объектов. В предыдущем занятии предлагалась методика для исследования формирования стратегии решения задач в условиях наглядно-образной формы представления ситуации. **Цель** настоящего занятия — выяснение влияния фактора «подсказки» на процесс формирования стратегии решения задач при абстрактной форме представления ситуации.

МЕТОДИКА

Испытуемым в случайном порядке предлагаются для решения три задачи. В каждой из задач используется порядок чисел от 0 до 24. Решение задач протекает в игровой форме. Условия (правила игры) идентичны для всех задач и заключаются в добавлении к получающимся промежуточным суммам определенных чисел. Ходы испытуемые делают попеременно. Все партии начинаются при числовой ситуации, равной 0.

В первой задаче к промежуточным суммам каждый испытуемый может добавлять числа 1, 2 или 3. Выигрывает тот, кто делает ход, приводящий к сумме 24.

Условия второй задачи идентичны предыдущей, однако испытуемый, набравший сумму 24, считается проигравшим.

В третьей задаче испытуемый, который играет с «подсказкой», может добавлять к промежуточным суммам числа 2 или 4. Испытуемый, играющий без «подсказки», добавляет к промежуточным суммам числа 1, 2 или 3. Игрок с «подсказкой» проигрывает, если он набирает сумму 24. Что касается игрока без «подсказки», то для него проигрышной является как сумма 23, так и 24. Дело в том, что при назывании числа 23 испытуемым, играющим без «подсказки», игрок с «подсказкой» может набрать лишь сумму 25 или 27, в то время как по условиям максимально возможная в задачах сумма равна 24.

Партии не обязательно доигрываются до суммы 24 (или 23 у игрока без «подсказки» в третьей задаче). Остановить игру имеет право испытуемый, который считает, что возникшая ситуация уже проигрышная для него. Право первого хода в первой партии разыгрывается между испытуемыми. В последующих партиях они начинают игру попеременно.

Предъявление «подсказки» осуществляется с помощью специального игрового автомата «Счет» (рис. 22). На экспериментальной установке работает группа из четырех студентов: два испытуемых и два экспериментатора. Один из экспериментаторов, нажимая на кнопку «Ход человека», воспроизводит на установке сумму, получившуюся после хода испытуемого, играющего без «подсказки». Далее экспериментатор нажимает на кнопку «Ход машины», и с помощью автомата определяется наилучший ход в данной ситуации (на цифровом табло автомата высвечивается сумма, которая получится после наилучшего хода).

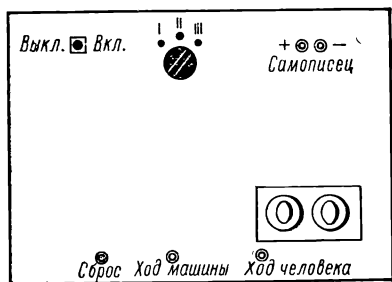


Рис. 22. Экспериментальная установка для игры «Счет».

Если ситуация является объективно проигрышной, то автомат определяет как наилучший ход, заключающийся в добавлении минимального числа из возможного набора (1 в первой и второй задачах и 2—в третьей задаче).

Таким образом, так же, как на предыдущем занятии, один из экспериментаторов непосредственно работает с игровым автоматом. Второй экспериментатор фиксирует с помощью ручного секундомера время

обдумывания ходов испытуемыми. Каждая пара испытуемых должна сыграть 20 партий. «Подсказка» предъявляется одному из них (игроку А) в течение первых 10 игр, другому (игроку В)—в течение вторых 10 игр.

Игра с использованием «подсказки» протекает следующим образом. Испытуемый, играющий с «подсказкой», записывает сумму, которую он предполагает назвать в протоколе, затем он смотрит на цифровое табло автомата, т. е. получает «подсказку». После анализа «подсказки» испытуемый может ее использовать, назвав сумму, указанную автоматом, или же назвать свою, ранее записанную сумму. Лишь в случае использования «подсказки» испытуемый записывает ее в протокол. «Подсказка» предъявляется после каждого хода, но обусловлена возможностью ее использования не более одного раза за игру. Задача испытуемых — в течение 20 партий понять общий принцип решения предлагаемых задач.

Принцип решения задач данного класса заключается в том, что после каждого «своего» хода разность между суммой, которую нужно набрать для выигрыша, и называемой испытуемым промежуточной суммой должна быть кратна сумме максимального числа из ходов противника и минимального из собственных ходов. Если испытуемый понял, как решать не менее двух предлагаемых в эксперименте задач, то необходимо проверить, сфор-

мировал ли он оптимальную стратегию решения задач данного класса или понял лишь частные принципы решения отдельных задач. Для проверки необходимо предложить испытуемому «предельную» задачу, которую он должен решить в течение 1 мин 30 с. Вариант предельной задачи приводится ниже.

У каждого из испытуемых ходы 1, 2, ..., n . Каковы должны быть числа, получающиеся после Вашего первого и второго ходов, если выигрывает тот, кто набирает число N ? А если набравший эту сумму считается проигравшим? (Например, при $N=297$ и $n=1,5$ ответы соответственно 3,9 и 2,8.)

Программа эксперимента

№ партии	№ задачи	№ партии	№ задачи
1	3	11	1
2	2	12	3
3	2	13	1
4	1	14	3
5	3	15	3
6	3	16	1
7	1	17	2
8	3	18	2
9	1	19	3
10	2	20	3

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

В ходе эксперимента испытуемые фиксируют суммы, получающиеся после своих ходов и ходов противника, результат игры, на каких ходах в партии использовалась «подсказка», результаты самонаблюдения.

Образец протокола испытуемого

№ партии	№ задачи	№ хода	Сумма после своего хода	Сумма после хода противника	Подсказка в случае возврата к ходу	Результат (В/П)	Примечание
1	3	1	2	5	—		

В столбце «№ партии» звездочкой обозначается право первого хода. После каждой партии в графе «результат» записывается В или П (выигрыш или проигрыш).

Необходимо указать, что записи предыдущих партий испытуемые должны закрывать. Экспериментатор, работающий с ручным секундомером, фиксирует время обдумывания ходов

каждым испытуемым и свои наблюдения. Для обработки экспериментальные данные заносятся в таблицу вида

№ игры	№ задачи	В/П	Число ходов*	Ход с использованием „подсказки“	Время игры*	Ср. время на 1 ход*	Число ошибок*	Ср. число ошибок на 1 ход*	Выработка стратегии
1	3	П	5	3	124	24,8	4	0,8	—
.									
.									
.									
20									

На основе полученных данных необходимо:

1. Вычислить процентное соотношение выигрышей и проигрышей в каждом 10 партиях.

2. Для каждой половины эксперимента (первых и вторых 10 партий) подсчитать:

- среднее количество ходов в партии;
- среднее время игры одной партии;
- среднее время обдумывания одного хода;
- среднее количество ошибок в партии;
- среднее количество ошибок, приходящееся на один ход.

3. Проверить достоверность различий между значениями показателей, отмеченных звездочкой в таблице в первых и вторых 10 партиях. Проверка осуществляется с помощью *V*-критерия Вилкоксона — Манна — Уитнея.

4. Проследить изменение частоты возврата хода в зависимости от номера игры и номера хода, заполнив специальную таблицу вида

№ хода	№ игры												
	1	2	...	10	Σ_1	%	11	...	20	Σ_2	%	$\Sigma_{\text{общ}}$	%
1													
2													
.													
.													
.													
Σ													
%													

5. Проверить существование достоверных различий в значениях показателей для первой и второй половин эксперимента при условиях представления информации в наглядно-образной и абстрактной форме.

СТРУКТУРА ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОМУ ЗАНЯТИЮ

Каждая группа из четырех студентов представляет отчет по лабораторному занятию, который должен содержать в себе следующие пункты:

1. Тема лабораторного занятия.
2. Цель лабораторного занятия.
3. Ф. И. О. испытуемых.
4. Протоколы испытуемых по всем 20 партиям.
5. Сводная таблица результатов для каждого испытуемого.

6. Результаты статистической обработки. В последней таблице могут быть представлены экспериментальные данные двух испытуемых.

7. Анализ экспериментальных данных, включающий такие моменты: а) на основе статистически обработанных результатов проанализировать изменения значений показателей скорости, точности и успешности решения задач в зависимости от того, выработана стратегия решения предполагаемого класса задач или нет; б) определить, когда потребность испытуемого в дополнительной информации извне при решении предлагаемых задач наиболее велика (в каких партиях, на каких ходах); в) определить, при какой форме представления информации (наглядно-образной или абстрактной) «подсказка» оказывает большее влияние на формирование стратегии; г) сопоставить полученные результаты с литературными данными.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каковы возможные направления использования игр в инженерно-психологических исследованиях?
2. Влияет ли форма представления информации на процесс формирования стратегии?
3. Какое влияние оказывает «подсказка» на процесс решения задач?

ЛИТЕРАТУРА

1. Ашмарин И. П., Васильев Н. Н., Амбросов В. А. Быстрые методы статистической обработки и планирование экспериментов. Л., 1975, с. 14—15.
2. Бондаровская В. М., Смутьсон М. Л. Некоторые особенности становления решения задач.— «Вопросы психологии», 1973, № 5, с. 58—66.
3. Матюшкин А. М. Проблемные ситуации в мышлении и обучении. М., 1972. 169 с.
4. Пушкин В. И. Об изучении мышления как процесса.— «Вопросы психологии», 1969, № 6, с. 20—36.
5. Рубинштейн С. Л. О мышлении и путях его исследования. М., 1958. 146 с.

ЗА Н Я Т И Е 17. ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЛЕКЦИИ РЕЧИ В УСЛОВИЯХ МНОГОКАНАЛЬНОЙ РЕЧЕВОЙ КОММУНИКАЦИИ

В проблеме многоканальной речевой коммуникации объединяется ряд центральных вопросов экспериментальной и инженерной психологии, связанных с характеристиками внимания и со вмещенных действий. Так, аудитор зачастую должен выполнять какое-либо действие, одновременно запоминая содержание другого для последующего выполнения.

Селекция релевантных речевых сообщений в условиях многоканальной речевой коммуникации — весьма распространенное явление в практике работы оператора. Тем не менее пока отсутствуют достаточно убедительные гипотезы, объясняющие как психоакустические, так и семантические феномены маскировки.

Экспериментально-психологическое изучение средств речевой многоканальной коммуникации не представляет собой разработанной и утвердившейся системы. Рекомендации для проектировщиков в большей своей части отталкиваются от обыденных наблюдений, не основанных зачастую на точных экспериментальных доказательствах. В руководстве по инженерной психологии [2] в разделе «Многоканальная речевая коммуникация» лишь констатируется довольно известный факт трудности работы оператора в этих условиях: «Слушатель не может слушать два одновременных избыточных сообщения и получать полное содержание обоих. Он вынужден переключать свое внимание с одного сообщения на другое с некоторой потерей информации в обоих сообщениях — или сосредоточить внимание на одном сообщении в ущерб другому. Слушание двух одновременных сообщений — более сложное явление, чем слушание речи в шуме, т. к. проявляется семантическое сходство между сообщениями. Слушатель может начать со слушания одного сообщения, а кончить слушанием другого».

Практические рекомендации по улучшению селекции обычно сводятся к пространственному разделению источников звука

(вариант беседы с кем-либо в шумной комнате, когда говорящие стремятся отойти в сторону), введению дополнительных сигналов (общезвестно, что наблюдение за говорящим позволяет лучше понять его), сознательному приданию релевантному речевому сообщению характерного тембра (действительно, мужчине легче услышать на фоне женских голосов, и наоборот), некоторому временному разведению поступающих сообщений (более вероятно получение правильного ответа на сообщение, поступившее всего на 0,2—0,4 с раньше).

Следует заметить, что если в практическом аспекте и можно выделить несколько достаточно надежных рекомендаций по улучшению селекции релевантных речевых сообщений, то теоретическое психофизиологическое обоснование этого процесса выглядит пока довольно неопределенно. Наибольшей популярностью в этом плане пользуется гипотеза о фильтрах английского психоакустика Д. Бродбента. Она сводится к представлению о процессе выбора как о «горлышке бутылки», которое пропускает в сосуд весьма ограниченное количество жидкости. Считается, что на входе нервной системы человека существуют своеобразные «фильтры», которые позволяют отсеивать громадное количество иррелевантной информации на самых ранних этапах обработки сигналов. На основании ряда экспериментальных работ, в том числе и наших, было показано, что первая, наиболее грубая решетка фильтров обязательно связана с физическими параметрами сигнала (специфический тембр, мужской — женский голос, сильная — слабая интенсивность и т. д.). При ориентировке на специфическую физическую окраску речевого сообщения выделение полезного сигнала осуществляется намного эффективнее, чем в случае однородного акустического комплекса.

Некоторые исследователи иерархию фильтров представляют в виде «модели шагового поиска». Так, А. Трейсмэн иллюстрирует стратегию выборного внимания следующей задачей. Испытуемый должен зарегистрировать высокий тон, включающийся в неожиданном месте в речевой поток и поступающий на правое ухо. Все остальные сигналы, в том числе и высокие тоны на левом ухе, он должен игнорировать. Трейсмэн полагает, что все поступающие сенсорные данные прежде всего анализируются по пространственной локализации (левое — правое ухо). Этот первый шаг в селекции заканчивается полной блокировкой всей информации, которая предьявляется на левое ухо (отбрасываются «выходы» для ответной реакции и памяти, отбрасываются «входы» для дальнейшего анализа). Далее испытуемый анализирует только звуки, поступающие на правое ухо.

Кстати, в совершенно независимых от этого эксперимента условиях К. Черри показал, что когда испытуемых просили после конца эксперимента «вспомнить», что именно предьявлялось на блокируемое ухо, они испытывали весьма серьезные затруднения, вплоть до неуверенных ответов о том, что, кажется, предъ-

являлась какая-то речь. Никто из них не был в состоянии процитировать какое-либо слово или фразу.

При анализе звуковой информации на правом ухе (второй шаг поиска) происходит аналогичная операция, т. е. отбрасываются все незвуковые сигналы (все речевые сообщения), а среди звуковых сигналов — все не соответствующие по частотному анализу тоны (третий шаг). Наконец, на выбранный сигнал (высокочастотный тон на правом ухе) дается ответная реакция. В связи с этой моделью А. Трейсмэн полагает, что в системе фильтров работает совершенно неограниченное количество «дополнительных» анализаторов (по интенсивности, тембру, пространственной локализации и т. д.). Увеличение количества параметров полезного сигнала (иными словами, увеличение решеток в системе) усложняет общую структуру модели шагового поиска, но тем не менее ускоряет и делает более надежной селекцию, что подтверждается и проведенными нами экспериментами.

Эта концепция безупречно объясняет случаи поступления сигналов с простыми физическими различиями и большей или меньшей ровностью в лексико-семантическом аспекте. Проблема же селекции релевантных сигналов в более сложных условиях остается пока совершенно неясной. Так, например, появление имени испытуемого в сообщениях, которые следует игнорировать, ухудшает результаты повторения релевантных сообщений. Или, например, при небольшой длине ряда возможных сообщений слушатель может понять оба из них. Почему, например, двойное увеличение темпа речи по сравнению с обычным почти не вызывает ухудшения результатов, а двойное увеличение информационного содержания сообщений ухудшает данные немного менее чем на 50%?

Целый ряд аналогичных «несоразмерностей» привел Д. Бродбента к выводу о том, что в условиях многоканального слушания должно быть два механизма внимания: один — основывающийся на физических параметрах сигналов и второй — построенный на содержательной проверке стимулов. В целом же, цитируя образное выражение Д. Бродбента, то, «как мозг фокусирует внимание на значении или содержании, до сих пор является мистерией».

Основываясь на ряде экспериментальных исследований, Д. Бродбент предложил выделить три основных проблемы многоканальной речевой коммуникации. Прежде всего это *проблема информационной значимости сообщения* (проблема «слушания Смита и игнорирования Джона»), связанная с предварительным знакомством с сущностью сообщений. Диспетчер аэродрома, работая в режиме многоканальной связи, может ошибочно полагать, что он равномерно обслуживает все каналы. В действительности он заранее осведомлен об информационной значимости каждого канала и в случае их равенства испытывает такие же трудности, как и новичок.

В экспериментальном исследовании Вебстера и Томпсона испытуемые легче опознавали названия самолетов и номера по сравнению со словами, так как они несли меньшую информацию для оператора. Однако наши экспериментальные исследования, связанные с информационным анализом сообщений, дали очень локальный результат в связи с трудностью определения статистических свойств источника.

Второй важной проблемой Бродбент считает *определение тех акустических различий, которые позволяют более уверенно проводить селекцию релевантных речевых сообщений*. Так, сильный акцент может способствовать решительному неприятию сообщения.

Третья важная проблема сосредоточена в области *временных несоответствий поступающих сообщений*. Так, если один голос говорит в одно ухо 736, а другой в то же самое время говорит в другое ухо 245, слушатель может слышать 245 736 или 736 245, но он никогда не слышит 723 465.

Представляется, что в этом примере проявляется большая зависимость селекции не от времени поступления сообщений, а от их латерального предъявления. В этом плане уместно привести рекомендации о преимуществах правоушного предъявления речевой информации, так как правое ухо у большинства слушателей является ведущим.

Бродбент предлагает также структурировать процесс селекции в многоканальной коммуникации. Так, наиболее простой, с его точки зрения, является задача выделения одного релевантного речевого сообщения из общего потока (ответ на одно из двух одновременно поступающих сообщений). Следующей, более сложной, является задача одновременного обслуживания двух речевых каналов (ответ на оба из двух одновременно поступающих сообщений). Бродбент полагает, что экстраполировать закономерности первого процесса на второй было бы опасно, так как во втором случае работает другой механизм внимания. Наблюдения за реальными ситуациями (например, за деятельностью диспетчера аэропорта) показали, что задачи второго типа являются более частыми. Кроме того, даже выполняя более простые задачи слушания только одного сообщения, оператор непроизвольно прислушивается и к иррелевантному сообщению. Думается поэтому, что четкого разведения этих двух задач быть не может, и второй вариант представляет собой усложненный первый, что подтверждается и некоторыми экспериментальными исследованиями.

Задание 1

Сравнить эффективность маскировки одних и тех же речевых сигналов шумом, тональными сигналами низкой частоты и речью. Составить графическое изображение кривых маскиров-

ки речью в зависимости от локализации источника звука (один общий динамик, отдельные динамики с правой и левой сторон, головные телефоны) и лексико-семантических характеристик ее.

Методика. При проведении исследования используется методика речевой-аудиометрии. Стимульным материалом являются слова и фразы артикуляционных таблиц. Расчет разборчивости осуществляется с помощью процентного отношения числа верно записанных слов к общему числу переданных в программе (150 слов для каждого исходного значения).

Аппаратура. Магнитофоны (2) с записью релевантной речевой программы и речевых помех; генератор шума Г2-12; генератор сигналов ГЗ-33; динамики (3), расположенные перед испытуемым на расстоянии 1 м в трех положениях: слева, прямо и справа; головные телефоны (ТД-6).

Процедура опыта. Испытуемые попарно участвуют в выполнении задания (экспериментатор и аудитор). Экспериментатор предъявляет релевантную речевую программу (словесную артикуляционную таблицу) при 4 уровнях интенсивности — 35, 40, 45, 50 Дб в условиях поочередной маскировки тональными сигналами, шумом и речью. Каждая речевая зона сопровождается 4 шумовыми зонами. Так, для релевантных речевых сигналов с уровнем интенсивности 35 Дб проходит 4 шумовых зоны 35, 40, 45 и 50 Дб (отдельно для тональных сигналов с частотой 500 Гц, шума и речевых помех).

Инструкции для испытуемого: «Запишите услышанные слова с указанием их порядкового номера. При плохой или сомнительной разборчивости поставьте рядом с порядковым номером прочерк или свой вариант услышанного сигнала. При полном отсутствии речевых сообщений (полная маскировка) через переговорное устройство сообщите экспериментатору о прекращении опыта. Через каждые 10 слов переходите в следующую графу таблицы. После окончания эксперимента проверьте свои записи по контрольным спискам и найдите пороговый уровень (по 50%-ным показателям)». Приводим образцы протоколов, составляемых испытуемыми.

Инструкция для экспериментатора: «Установите магнитофонную пленку с записью словесной артикуляционной программы с исходным уровнем в 35 Дб. Включите генератор помех (один из трех генераторов шума, генератор звуковых сигналов, магнитофон с записью речевых помех). Установите исходный уровень интенсивности звуковых помех — 35 Дб. Далее с интервалами в 10 слов переключайте аттенюатор генератора помехи ступенями по 5 Дб с таким расчетом, чтобы каждая полезная речевая зона сопровождалась 4 шумовыми зонами».

При поступлении через переговорное устройство информации испытуемого об отказе («Ничего не слышно») экспериментатор

Маскировка тональным сигналом 500 Гц

Предъявленные слова	Разборчивость, %	Уровень интенсивности речевых сигналов, Дб	Уровень интенсивности тонального сигнала помехи, Дб
1 2 3 10	100	35	30
11 20	80	35	35
21 30	75	35	40
31 40	50	35	45
41 50		40	35
...			
150 160		50	65

Маскировка речью

Предъявленные слова	Разборчивость, %	Уровень интенсивности полезных речевых сигналов, Дб	Уровень интенсивности речевых помех, Дб
1 10		35	35
...			
150 160		50	65

переходит на другой уровень интенсивности полезного речевого сигнала.

Обработка результатов исследования осуществляется при проверке записей по контрольным спискам артикуляционных таблиц. В графе «разборчивость, %» проставляется измеренная разборчивость речи в данных конкретных условиях. На основании выявления пороговых зон (50 %-ные показатели) определяются пороговые кривые маскировки.

Форма представления окончательных результатов состоит в графическом изображении кривых маскировки полезных речевых сигналов различными помехами (тональными сигналами, шумом и речевыми помехами). По оси абсцисс откладываются уровни интенсивности помех, Дб, по оси ординат — уровни интенсивности полезных речевых сигналов, Дб. Параметрами кривых являются 50 %-ные точки разборчивости речи. При правильно построенных графиках наивысший уровень маскировки достигается при включении речевых помех. Нижняя кривая связана с маскировкой речевых сигналов тональным сигналом в 500 Гц.

Задание 2

Выявить роль пространственной локализации источника звука. Доказать, что при разведении речевых помех и релевантных речевых сигналов отдельно по левому — правому динамикам эффективность селекции повышается.

Методика проведения занятия аналогична первому заданию, т. е. испытуемый записывает и в дальнейшем проверяет тестовые слова (методика речевой аудиометрии).

Процедура опыта. При одинаковом уровне интенсивности релевантных речевых программ в 70 Дб ($P/ш=0$ Дб) релевантная речевая программа предъявляется в 3 различных условиях локализации: 1) по одному общему центральному динамику; 2) через головные телефоны; 3) отдельно по левому — правому дина-

Протокол № 3

Серия „Общий динамик“

Предъявленные слова	Правильно услышанные слова
1	+
2	—
3	+
50	+
50	35
Разборчивость, %	70

микам (помехи в левом динамике). Длина программы — 50 слов.

Протоколы опытов оформляются отдельно для разных положений источников.

При завершении задания оформляется один сводный протокол вида

Протокол № 4

Условия	Разборчивость, %
Общий динамик	70
Головные телефоны	60
Разведение по левому — правому динамикам	90

Выводы должны отразить изменение эффективности селекции при переходе от общих источников звука к отдельным.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каковы основные теоретические предпосылки исследования разборчивости речи в условиях многоканальной речевой коммуникации?

2. Что является наиболее эффективным средством маскировки — шум, тональные сигналы или речевые помехи?

3. Как изменяется разборчивость речи при увеличении уровня интенсивности помех — шума, тональных сигналов и irrelevantных речевых сообщений?

4. Какое пространственное распределение источников звуковых речевых сообщений является оптимальным?

5. Есть ли различие (объективное и субъективное) в использовании головных телефонов или динамиков как источников звуковых речевых сообщений?

ЛИТЕРАТУРА

1. Ломов Б. Ф. Человек и техника. М., 1966. 464 с.
2. Чапанис А., Морган К. Т., Кук Д. С., Ланд М. У. и др. Инженерная психология в применении к проектированию оборудования. М., 1971. 488 с.
3. Лушicina И. М. Эффективность селективного аудирования в речевой коммуникации. — «Вопросы психологии», 1970, № 4, с. 56—65.

ЗАНЯТИЕ 18. ОЦЕНКА РАЗБОРЧИВОСТИ РЕЧИ В УСЛОВИЯХ ШУМА

Разборчивость речи в условиях шума зависит от многих факторов: отношения речи к шуму, выраженному в децибелах, уровня интенсивности речи и шума, частотных характеристик шума, лингвистической организации речевых сообщений, информаци-

онных и ситуативных свойств передачи, уровня тренированности auditors.

Отношение речи к шуму должно находиться в зоне со знаком «+», т. е. уровень интенсивности речи всегда должен быть выше уровня интенсивности шума. Минимальное значение этого отношения равно +6 Дб, дальнейшее увеличение его улучшает разборчивость. При $R/ш = +6$ Дб средняя разборчивость речи будет обычно составлять 70—75%, т. е. данная линия связи оценивается как удовлетворительная.

При постоянном отношении речи к шуму (например, при $R/ш = +6$ Дб) абсолютный уровень их исходных составляющих имеет не столь существенное значение, однако все же выделяется оптимальный участок интенсивности от 60 до 90 Дб, при котором опознается наибольший процент речевого материала. При дальнейшем увеличении уровня интенсивности речи до 120 Дб и шума до 114 Дб разборчивость речи ухудшается примерно на 20%. Именно поэтому в случае сильного шума целесообразно снижать его интенсивность даже за счет одновременного снижения уровня речи. Так, обнаружено, что при закрывании ушей (например, пробкой, ватным тампоном, втулкой, полу-втулкой) разборчивость речи на фоне шума повышается.

Разборчивость речи зависит и от частотных свойств шума. Шумы по частоте делятся на 3 группы: низкочастотные (от 30 до 300—400 Гц), среднечастотные (от 400 до 800—1000 Гц) и высокочастотные (выше 1000—2000 Гц). Это деление осуществляется в зависимости от преобладания в спектре шума тех или иных частот по уровням интенсивности. Наиболее маскирующий эффект оказывают низко- и среднечастотные шумы, так как они по спектру близки к спектру речевых сигналов (в той же частотной зоне).

Решающую роль в изменении разборчивости речи играет лингвистическая организация речевого материала, т. е. тип используемых артикуляционных таблиц. Существует несколько видов разборчивости речи в зависимости от ее лингвистической организации: звуковая (формантная), слоговая, словесная в нескольких вариантах, фразовая в нескольких вариантах. Между этими видами разборчивости установлена функциональная взаимосвязь, поэтому на основе одного вида можно предсказывать другой.

Звуковая (формантная) разборчивость используется при самом плохом тракте связи, она в максимальной степени свободна от субъективных факторов типа сообразительности аудитора, его знакомства с текстом и т. д.

Слоговая разборчивость применима при более хорошем качестве связи. Число ошибок при слоговой разборчивости представляет наглядную меру акустического качества тракта связи. Максимальный уровень слоговой разборчивости составляет 96%. При 85% речь понимается без напряжения. При 79% определя-

ется нижняя граница безукоризненной передачи, при 60—50% — удовлетворительная связь, а при 50% и ниже разборчивость вообще неудовлетворительна.

Словесные артикуляционные таблицы составлены с учетом фонетических, статистических и возрастных принципов. Имеются, например, таблицы для детей и взрослых. Кроме того, существуют бланковый метод (вычеркивание в списке слов, похожих фонетически) и метод прямой записи (или повторения) услышанных слов. В первом случае, например, перед аудитором лежит таблица с похожими четверками слов (глаз, класс, класть, квас), из которых надо выбрать одно, переданное по каналу. Во втором случае таблица представляет собой список тестовых слов, все они записываются аудитором в порядке предъявления.

Фразовые таблицы могут быть набором либо простых предложений, которые аудитор должен полностью записать (типа «Командир корабля одобрил решение»), либо вопросов, на которые аудитор должен дать ответ (типа «Какого цвета уголь?»). Фразовые таблицы наиболее усложняют расчет разборчивости речи из-за большого количества субъективных моментов.

Существенное влияние на разборчивость речи оказывают информационные и ситуативные свойства передачи, когда на все вышеперечисленные параметры оказывают влияние трудно предсказуемые особенности ситуации и информационной значимости сообщений.

Таким образом, измеренная разборчивость речи не может достаточно точно характеризовать качество тракта связи, так как она представляет собой комплекс многих переменных. Истинная же разборчивость речи есть определенная величина, к которой стремится измеренная разборчивость при неограниченном увеличении числа слушателей и передаваемых элементов речи. Она является величиной объективной.

Цель задания — показать изменение разборчивости речи в зависимости от частотных характеристик шума, уровня его интенсивности (при открытых ушах и при использовании ватных тампонов) и типа используемых артикуляционных таблиц (словесные и фразовые).

Методика. Используется методика речевой аудиометрии, т. е. рассчитывается количество правильно записанных ответов в процентах по отношению к переданным.

Аппаратура. Магнитофон с записью артикуляционных таблиц, генератор шума Г2-12, шумомер для измерения уровня интенсивности речи и шума.

Процедура опыта. Экспериментатор устанавливает на магнитофон пленку с записью сначала словесных, затем фразовых артикуляционных таблиц и предъявляет ее испытуемому через один динамик в смеси с шумом. Уровень интенсивности речи 70 Дб. Шум меняется по двум характеристикам: частоте (низко-, средне- и высокочастотные шумы) и уровню интенсивности.

На первом этапе выполнения задания словесная артикуляционная программа длиной в 50 слов предъявляется по очереди в смеси с низко-, затем средне- и высокочастотным шумом. Отношение $P/ш = +6$ Дб. Всего предъявляют испытуемому 150 слов.

Обработка результатов. Испытуемый записывает услышанные слова и рассчитывает процент словесной разборчивости.

Образец протокола опыта № 1:

Образец протокола опыта № 1
Разборчивость речи, %, в шуме

Уровень отношения $P/ш$	Частота шума		
	Низкая (39—400 Гц)	Средняя (400—1000 Гц)	Высокая (1000 Гц)
+6 Дб	40	50	60

Форма представления результатов табличная. Выводы должны отражать изменение эффективности приема в зависимости от частотных свойств шума.

При повышении уровней интенсивности исходных составляющих до 90 Дб (речи — 90, шума — 96 Дб) проверяется изменение эффективности приема с открытыми ушами и при использовании ватных тампонов (в этом случае используется среднечастотный шум).

Образец протокола опыта № 2
Разборчивость речи, %, в сильном шуме

Разборчивость речи	Открытые уши	Уши, закрытые ватным тампоном
	50	60

На втором этапе выполнения задания процедура повторяется, но на магнитофон ставится пленка с записью фразовых артикуляционных таблиц. Для фразовых артикуляционных таблиц отдельно оформляются протоколы, аналогичные протоколам № 1 и 2. В выводах сравнивается численное выражение фразовой разборчивости со словесной.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Определите свойства шумов по частотным характеристикам.
2. Как изменяется разборчивость речи в шумах с различными спектрами?

3. Перечислите виды разборчивости речи.
4. Как относятся между собой словесная и фразовая виды разборчивости в условиях одних и тех же шумов?
5. Как можно изменить разборчивость речи при очень высоких уровнях интенсивности?

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреева-Галанина Е. Ц., Алексеев С. В., Кадыскин А. В., Суворов Г. А. Шум и шумовая болезнь. Л., 1972. 303 с.
2. Покровский Н. Б. Расчет и измерение разборчивости речи. М., 1962. 391 с.
3. Сапожков М. А. Расчет разборчивости речи для систем звукоусиления в помещениях. М., 1972. 95 с.

ЗА Н Я Т И Е 19. ОЦЕНКА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ОПЕРАТОРА ПРИ ПРИЕМЕ АКУСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ НА ФОНЕ ИНТРАМОДАЛЬНОЙ ПОМЕХИ

Под помехоустойчивостью оператора понимается его способность осуществлять активный выбор, проводить тонкое различение и действовать в соответствии с заданной программой в условиях воздействия дополнительных раздражителей — помех.

Можно представить следующие виды помехоустойчивости оператора:

1. Полимодальная помехоустойчивость, предполагающая функционирование оператора при воздействии на него помехи по всем сенсорным каналам.

2. Кроссмодальная, предполагающая функционирование оператора при приеме информации по одному каналу, а воздействие помехи — по другому.

3. Интрамодальная (сигнальная) помехоустойчивость — функционирование оператора по приему сигналов вместе с морфологически однофазной помехой.

4. Микромодальная помехоустойчивость, предполагающая наличие семантических шумов приемника.

Относительно источника помехи помехоустойчивость может быть внешней и внутренней. Внешняя помехоустойчивость предполагает компенсацию помех, идущих вместе с сигналом из внешней среды. Внутренняя помехоустойчивость предполагает компенсацию помех, идущих от самого субъекта (сенсорные, перцептивные, языковые шумы, негативная установка, общее утомление, усталость и пр.).

В общем виде помехоустойчивость оператора можно представить как сложную нелинейную функцию от целого ряда параметров, как-то:

- 1) модальность поступающих к оператору сигналов;
- 2) физические характеристики сигналов и помех;
- 3) длина алфавита значимых сигналов;
- 4) информационная плотность сигналов;
- 5) вероятность появления значимого сигнала и помехи;
- 6) социальная и биологическая значимость сигнала и помехи;
- 7) выделение нового сигнала, появляющегося в составе алфавита ранее известных сигналов или наоборот, опознание известного значимого сигнала среди иррелевантных сигналов;
- 8) исходная инструкция;
- 9) уровень мотивации и заинтересованности в результатах работы;
- 10) тип высшей нервной деятельности оператора;
- 11) степень профессиональной подготовленности и тренированности;
- 12) психофизиологическое состояние оператора;
- 13) организация режима труда и отдыха оператора;
- 14) длительность работы;
- 15) время суток работы.

Помехоустойчивость можно оценивать степенью соответствия принятого оператором сигнала X к переданному сигналу S . Для обозначения степени соответствия принятого сигнала переданному вводится термин «верность». В качестве количественной меры верности используются следующие критерии.

Вероятностный критерий — помехоустойчивость характеризуется зависимостью

$$P_0 = f(q^2),$$

где P_0 — вероятность ошибочного приема сигнала; $q^2 = \frac{Q^2}{\sigma^2}$ — отношение энергии сигнала к спектральной плотности помехи. Эта зависимость предполагает знание вероятностных характеристик сигнала и помехи.

Энергетический критерий показывает степень превышения сигнала над помехой на входе системы q^2 , при котором обеспечивается заданное качество приема сигнала.

Весовой критерий характеризует помехоустойчивость ценой ошибки P_{kn} , показывающей, насколько плохо с точки зрения возможных последствий зафиксировать n -й сигнал, если передан был k -й сигнал. Полное описание значимости ошибок дает специальная матрица цены ошибки $M_{п.о.}$

Артикуляционный критерий используется для оценки помехоустойчивости телефонных сигналов. Он характеризует разборчивость, которая определяется в процентах как отношение числа правильно принятых звуков к общему числу переданных.

Цель настоящей работы — исследование зависимости помехоустойчивости оператора при приеме акустических сигналов

Таблица 9

**Порядок предъявления сигналов различных типов
в экспериментальной программе**
(100 сигналов)

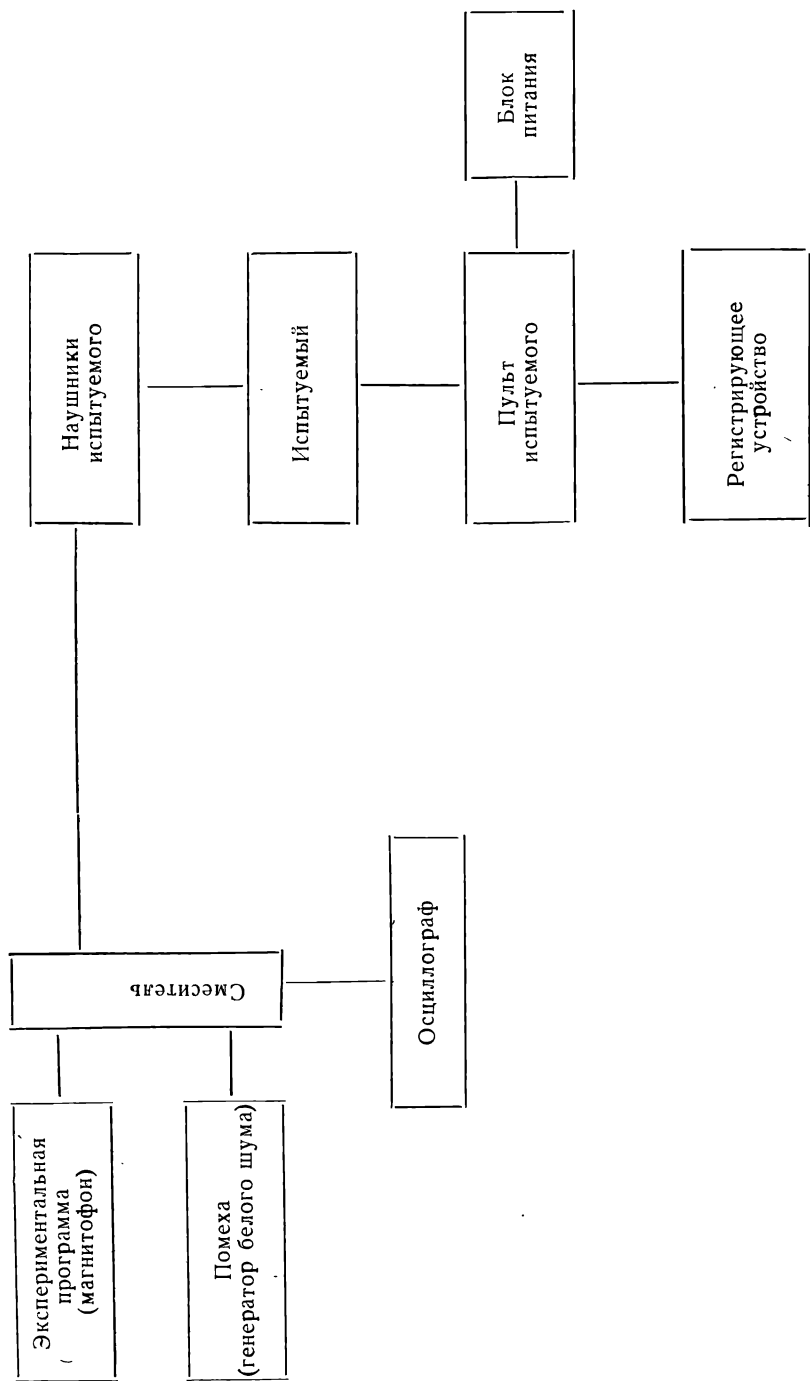
№ де- сятка	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	4	3	4	1	2	4	3	4	2	5
2	2	1	3	1	2	4	1	3	2	3	5
3	2	3	2	4	2	3	1	2	4	1	5
4	4	3	2	4	1	3	2	4	1	4	5
5	3	2	4	3	1	2	4	1	3	2	5
6	1	2	4	1	4	3	2	1	3	2	5
7	2	3	1	4	3	2	4	1	2	1	5
8	3	4	2	3	4	1	4	3	1	3	5
9	4	3	1	3	4	1	4	2	3	1	5
10	3	2	4	2	1	4	3	1	2	1	5

Примечание. Цифрой 1 закодирована многоканальная передача, 2 — код Морзе, 3 — телефония, 4 — телетайп, 5 — тональный маркер, следующий после каждых десяти предъявленных сигналов.

различных классов на фоне интрамодальной помехи от физических характеристик принимаемых сигналов и соотношения интенсивностей сигнал/помеха.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОГРАММА

В качестве полезных сигналов использованы сигналы двух типов: импульсные (код Морзе и телетайп) и шумоподобные (телефония и многоканальная передача), отличающиеся друг от друга спектральным составом и ритмической структурой.



Блок-схема экспериментальной установки.

Импульсные сигналы имеют частоту заполнения 500 Гц, спектр шумоподобных сигналов лежит в пределах от 150 до 720 Гц.

Четыре типа сигналов предъявляются равновероятно. Значение уровня интенсивности всех сигналов одинаково. Длительность предъявления каждого сигнала — 5 с, паузы между сигналами — 3 с. Порядок следования сигналов представлен в табл. 9.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Эксперимент проводится на установке, блок-схема которой представлена ниже. Экспериментальная программа воспроизводится на магнитофоне. Помехой является белый шум, излучаемый генератором Г2-12. Соотношение интенсивностей сигнал/помеха устанавливается с помощью осциллографа по максимальным амплитудам сигнала и помехи.

Аддитивно смешанный сигнал с помехой с выхода смесителя поступает на наушники испытуемого. На приход сигнала испытуемый реагирует нажатием на соответствующую кнопку на пульте. При нажатии на кнопку вырабатывается импульс определенной интенсивности, который регистрируется на бумажной ленте самописца.

ПРОЦЕДУРА ЭКСПЕРИМЕНТА

Перед началом эксперимента устанавливается средний уровень потока сигналов в зоне комфорта (50—60 Дб над порогом слышимости). Амплитуда этого уровня фиксируется с помощью осциллографа. Затем согласно заданному соотношению интенсивностей сигнал/помеха по отношению к фиксированному уровню сигналов устанавливается уровень помехи по максимальной амплитуде.

Исследуются следующие соотношения интенсивностей сигнал/помеха. $S/N=2/1$, $1/1$, $1/2$, $1/3$ и $1/5$.

Коктейль «сигнал+помеха» предъявляется испытуемому с помощью наушников бинаурально. Испытуемый обязан реагировать на каждый принятый сигнал нажатием на соответствующую кнопку с обозначением типа сигнала. Длительность эксперимента при заданном соотношении сигнал/помеха — 20 мин.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Ответ на каждый тип сигнала закодирован соответствующей величиной импульса, регистрируемого на самописце: код Морзе — 20 мм, телетайп — 40 мм, телефония — 30 мм, многоканальная передача — 40 мм. Данные, полученные на ленте самописца, сверяются с реальной последовательностью предъявляемых сигналов по таблице. Для удобства обработки данных после каждых 10 предъявленных сигналов следует тональный маркер с часто-

той несущей 1000 Гц. Маркер закодирован величиной импульса 50 мм.

В данной работе для оценки помехоустойчивости оператора используется вероятностный критерий. Количественной мерой помехоустойчивости является вероятность правильного опознания типа сигнала, косвенную оценку которой может дать анализ ложных тревог и пропусков сигнала.

Общее количество предъявления сигналов данного типа (N) для заданного соотношения сигнал/помеха определяется по табл. 9. По ответам, регистрируемым на самописце, определяется количество пропущенных ($N_{\text{проп}}$) и перепутанных ($N_{\text{пер}}$) сигналов этого же типа.

1. По формуле

$$P_{\text{пр}} = \frac{N - (N_{\text{проп}} + N_{\text{пер}})}{N}$$

необходимо определить вероятность правильной идентификации сигналов.

Вероятность перепутывания определяется как

$$P_{\text{пер}} = \frac{N_{\text{пер}}}{N},$$

вероятность пропуска — как

$$P_{\text{проп}} = \frac{N_{\text{проп}}}{N}.$$

Данные эксперимента заносятся в протокол по следующей форме:

Тип сигнала	S/N	N	$N_{\text{пер}}$	$N_{\text{проп}}$	$P_{\text{пр}}$	$P_{\text{пер}}$	$P_{\text{проп}}$
Код Морзе	2/1						
	1/1						
	1/2						
	1/3						
	1/5						

2. Для вычисленных вероятностных оценок необходимо определить доверительный интервал по формулам

$$P_1 = P_{\text{пр}} \pm t_{\beta} \sqrt{\frac{P_{\text{пр}}(1 - P_{\text{пр}})}{N}},$$

$$P_2 = P_{\text{пр}} - t_{\beta} \sqrt{\frac{P_{\text{пр}}(1 - P_{\text{пр}})}{N}},$$

где P_1 и P_2 — верхняя и нижняя границы вероятности правильной идентификации типа сигнала; t_{β} определяется из таблиц в зависимости от выбранного уровня доверительной вероятности β (в данной работе β может быть равна 0,95).

3. Проверить по критерию Стьюдента достоверность различий точечных оценок $P_{\text{пр}}$ для различных соотношений сигнал/помеха по каждому типу сигналов.

4. Построить диаграммы, иллюстрирующие зависимость вероятности правильной идентификации типа сигналов от соотношения сигнал/помеха по каждому типу сигналов.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

По полученным экспериментальным данным необходимо проанализировать зависимость помехоустойчивости оператора при приеме акустических сигналов на фоне интрамодальной помехи от:

- класса принимаемых сигналов (импульсные — шумоподобные);
- ритмической структуры импульсных сигналов (код Морзе — телетайп);
- соотношения интенсивностей сигнал/помеха.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дать определение помехоустойчивости оператора.
2. Каковы критерии оценки помехоустойчивости оператора?
3. От каких параметров зависит помехоустойчивость оператора?

ЛИТЕРАТУРА

1. Горбов Ф. Д. О помехоустойчивости оператора. — В кн.: Инженерная психология. М., 1964, с. 340—358.
2. Котик М. А. Основы инженерной психологии. Тарту, 1969. 239 с.
3. Ломов Б. Ф. Человек и техника. М., 1966. 464 с.
4. Цвикер Э., Фельдкеллер Р. Ухо как приемник информации. М., 1971. 256 с.

ИНЖЕНЕРНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА

ЗАНЯТИЕ 20. ЭКСПЕРТНАЯ ИНЖЕНЕРНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ИНДИКАТОРА

Экспертная инженерно-психологическая оценка индикатора заключается в установлении и количественном выражении соответствия инженерно-психологических показателей качества индикатора инженерно-психологическим требованиям к нему, определяемым физиологическими, психофизиологическими и психологическими свойствами человека, которые обуславливают эффективность чтения и понимания показаний индикатора.

Цель занятия — выполнить экспертную инженерно-психологическую оценку индикаторов с подвижными указателями и неподвижными шкалами.

МЕТОДИКА

Для инженерно-психологической оценки эксперту необходимо выполнить следующую процедуру:

1. Ознакомиться с перечнем инженерно-психологических показателей качества индикаторов (*И*) и требований к ним, перечисленных в табл 10—19.
2. Сопоставляя требования с показателями индикатора, выбрать из табл. 10 те показатели, которые, по мнению эксперта, должны быть учтены при оценке данного индикатора; составить перечень этих показателей.
3. Исследовать оцениваемый индикатор для получения фактических значений выбранных показателей. Фактические значения инженерно-психологических показателей индикатора могут быть установлены по его паспорту, справочным данным, в результате прямых и косвенных измерений, получены от разработчиков и эксплуатационников. Если для некоторых из выбранных показателей фактических значений получить не удастся, они исключаются из перечня. Следует, однако, стремиться не упускать из виду показатели, безусловно, существенные для оцениваемого индикатора, если их фактические значения могут быть установлены: чем больше показателей, тем точнее оценка.

Инженерно-психологические показатели для экспертной оценки средств индикации

Индекс и наименование показателя	Условия и сведения, необходимые для применения показателя (вариант применения показателя)	Правила оценивания		Оценка
1	2	3		4
I. Показатели информационного соответствия				
1.1. Соответствие индикатора виду чтения показаний:	а) качественное и контрольное чтение (при дискретном описании отображаемого параметра или объекта)	Использован сигнализатор (блок сигнализаторов) Другие индикаторы		1 0
	б) количественное чтение (при непрерывном и дискретном описании параметров; обычно используются декартовы координаты или полярные координаты с круговой шкалой).	Использован счетчик (блок счетчиков). Иначе		1 0
	в) качественное, контрольное и количественное чтение при дискретно-непрерывном описании параметров	Использован пикторальный И (или шкальный с прямолинейной шкалой) Другие И		1 0
1.2. Соответствие формы отсчетного устройства направлению изменений:	а) положение (ориентация) объекта	Использован шкальный И		1 0
		Использован И с прямолинейной вертикальной шкалой Другие И		1 0
	б) горизонтальное перемещение (прямолинейное)	Использован И с прямолинейной горизонтальной шкалой Другие И		1 0

1.3. Относительная подвижность шкалы и указателя	+++ горизонтальный поворот	Использован пикториальный И с круговой шкалой (нуль в центре шкалы, односторонний отсчет) Другие И	1 0
		Использован пикториальный И с дуговой шкалой (нуль в центре шкалы, двусторонний отсчет) Другие И	1 0
	б) значения других параметров		1 0
	а) небольшой диапазон измерений		1 0
	б) большой диапазон измерений	Использован И с неподвижной шкалой и подвижным указателем Другие И	1 0
		Использован И с неподвижной шкалой и подвижным указателем Другие И	1 0
	+++ необходим прецизионный отсчет		1 0

1	2	3	4
1.4. Релевантность элементов отсчетного устройства	Для любых индикаторов	На обращенной к оператору лицевой части И отсутствуют не относящиеся к выполнению отсчета надписи (штампы и т. п.) Иначе	1 0
1.5. Звуковые сигнализаторы	Используются для простейшей информации и предупредительных сигналов, для предупредительного привлечения оператора к сигналу	Сигналы должны быть на 10 Дб сильнее уровня шума в рабочей среде; наиболее приемлемы звонки (прерывистые сигналы) Иначе	1 0
II. Показатели символического кодирования			
2.1. Сигнализация отказа	Для всех главных И, неисправность которых прямо не может быть установлена оператором	Сигнализация отказа обеспечена Не обеспечена	1 0
2.2. Аварийная сигнализация	а) обеспечение привлекающего эффекта (увеличение физической силы раздражителя; использование необычного по форме, цвету, модальности раздражителя; использование прерывистых движущихся зрительных стимулов; использование дополнительных малоагрессивных сенсорных входов человека; подача аварийных сигналов в виде вспышек, повторяющихся с частотой от 3 до 10 в секунду с равными периодами включения и выключения)	Привлекающий эффект обеспечен Иначе	1 0

	б) местоположение аварийного сигнала		По ходу перемещения взгляда оператора при контроле соответствующих систем; про- странственно сближены аварийный сигнал и прибор управления; сигнал должен быть виден оператору со всех участков рабочего места Иначе	1 0
	в) обеспечение пра- вильности понимания оператором смысла или причины случившегося	используются смысловые сиг- налы	Надписи на табло; голосовое сообщение (лучше использовать при дефиците времени) Иначе	1 0
	г) в особо опасных случаях		Дублирование аварийного светового сигнала прерывистым звуковым сигналом Иначе	1 0
2.3. Адекват- ность выбора текстового или символического кодирования	а) для сравнительно небольшого коли- чества особо важных (главных) сигналов и для передачи речевых сообщений		Использование текстового кодирования Символическое кодирование	1 0
	б) для большого количества одинаково важных (или второстепенных) сигналов		Использование символического кодирования Текстовое кодирование	1 0
2.4. Адекват- ность выбора способа (катего- рии) символиче- ского кодирова- ния	а) для привлечения внимания к сиг- налу И, расположенного на периферии поля зрения (или в оптимальной зоне, среди большого числа светящихся И)		Использовано кодирование мелькающим светом. Другие способы визуального кодирования	1 0

1	2	3	4
	б) для поиска и обнаружения, для контроля	Использовано кодирование цветом (разбиением на функциональные зоны разделяющими интервалами или линиями) Иначе	1 0
	в) для точной количественной оценки значений параметра (номера объекта)	Использовано цифровое кодирование Другие методы	1 0
	г) для опознания и декодирования	+ принадлежности объекта	Использовано кодирование отдельными буквами (словами или аббревиатурами), пиктограммами, цветом Другие способы (в том числе при отсутствии указания принадлежности) Использовано буквенно-цифровое кодирование (в сочетании с пиктограммами и цветом) Другие способы
		+ + принадлежности объекта вместе с его количественными характеристиками	
	д) для декодирования увеличения (уменьшения) значений параметра (для всех параметров, кроме пространственных эволюций объекта)	Увеличение (уменьшение) значений параметра кодируется перемещением сигнала (указателя) слева направо или снизу вверх (справа налево или сверху вниз) Иначе	1 0

2.5. Адекватность выбора Уровня и значений кода	е) для кодирования признаков объекта	+ статических	Расположение сигнала на индикаторе (И и БИ) соответствует расположению объекта относительно оператора Иначе	1 0
		+ + динамических	Перемещение сигнала (указателя) на И соответствует перемещению объекта относительно оператора Не соответствует	1 0
	а) при кодировании мелькающим светом		Использован один уровень (частота мельканий 3—5 Гц с длительностью вспышки 50 мс и прямоугольной формой импульса) или два уровня частоты мельканий 3—4 и 6—8 Гц соответственно, импульсы прямоугольные длительностью 50 мс Иначе	1 0
	б) при кодировании цветом	+ красный (оранжевый для люминифоров)	Для предупреждения о возможной аварии, недопустимой перегрузке, неправильном включении или действии; при необходимости принятия срочных мер, предусмотренных специальными правилами; для обозначения органов аварийного управления; для отметок допустимых пределов измеряемых величин на измерительных приборах Иначе	1 0

1	2	3	4
	++ желтый	Предупреждение о предельных величинах Иначе	1 0
	+++ зеленый	Обозначает нормальное состояние аппара- туры, возможность работать на данном приборе Иначе	1 0
	++++ белый (молоч- ный, бледно-голубой для люминофоров)	Обозначает включенное состояние прибора; применяется для предупреждения о напряже- нии, для указания на поданную команду Иначе	1 0
	+++++ синий	Обозначает отрицательную полярность Иначе	1 0
	++++++ сигналы несовместны, непосред- ственное визуальное сравнение невозможно	Используются 2—5 уровней: красный (635 ммк), желтый (580 ммк), зеленый (520—530 ммк), голубой (465—490 ммк), фиолетовый (430 ммк) Иначе	1 0
	++++++ сигналы совместны, возможно непосредственное срав- нение цветовых тонов	Используются 2—5 уровней (как в предыду- щем случае) либо 10—12 уровней Иначе	1 0

в) сочетание цвета знака и фона

		Синий знак на белом фоне, черный на желтом, зеленый на белом, красный на белом, зеленый на красном, красный на желтом, оранжевый на белом, черный на белом Иначе	1 0
г) при кодировании величины раздельного интервала	+ прибор (блоков) внутри блоков (блоков старшего ранга)	Используются 2—3 уровня: величина раздельного интервала $n_i = 1,5n(i-1)$, где $i=2,3$ и n — интервал, необходимый по условиям монтажа и ремонта Иначе	1 0
	+ знаков в формуле (строке или столбце таблицы, табло)	Величины раздельных интервалов соответствуют данным, приведенным в табл. 11 Не соответствуют	1 0
д) при кодировании формой	1) отдельных букв	Используются до 20 русских букв: М, Ю, Я, Ъ, Ж, Ш, Х, О, Р, Ц, Ф, П, А, И, Н, В, К, С, Ч, Г (расположены в порядке убывания читаемости) Другие буквы, а также А, Л, Д; З, В, Б; О, С для кодирования разных свойств	1 0
	+ по их значению		
	+ по их начертанию	Используется начертание согласно ГОСТ 2930-62 или используются заглавные буквы шрифтов: зубчатый, промышленный, стандартный Используются заглавные буквы других начертаний, а также любые строчные буквы	1 0

1	2	3	4
2) отдельных цифр		Используются 10 арабских цифр в начертании согласно ГОСТ 2930-62 или шрифтом промышленным, стандартным, Макворта, Бергера Используются те же цифры других (необычных) начертаний	1 0
		Используются 10—20 знаков из наборов хорошо различаемых и опознаваемых геометрических фигур Другие знаки, читаемость которых экспериментально не определена	1 0
		Используются до 100 (и более) знаков, высокая читаемость которых определена экспериментально Используются знаки, читаемость которых экспериментально не определена	1 0
2.6. Адекватность использования аббревиатур (если они использованы)	Общепринятые в русском языке (отраслевом подязыке) аббревиатуры:	Имеются	1 0
		Аббревиатура используется Не используется	1 0
		Аббревиатура не используется, кодирование осуществлено полным словом или пиктограммой Аббревиатура используется	1 0

2.7. Адекватность квантования шкалы	а) расположение отметок	Равномерное Неравномерное	1 0
	б) величина наименьшего деления	Равна (или немного больше) удвоенной абсолютной погрешности. Меньше (или много больше)	1 0
	в) оцифровка интервала	Оцифрованные интервалы имеют значения (в единицах измеряемой величины): $1 \cdot 10^n$ или $2 \cdot 10^n$, или $5 \cdot 10^n$, где n — натуральное число (положительное, отрицательное или равное нулю) Имеют другие значения	1 0
	г) количество и вид неоцифрованных отметок между оцифрованными отметками	Выбраны в соответствии с табл. 12 Иначе	1 0
	д) количество и способ кодирования функциональных участков (зон) — для условий нормального освещения	Выделено три зоны: опасность (красный цвет), предостережение (желтый) и норма (зеленый цвет) Иначе	1 0

1	2	3	4
2.8. Адекватность оформления подвижного указателя	а) форма	Простая, обычно клиновидная, с заострением под углом $\approx 40^\circ$ Иначе	1 0
	+ стрелка		
	++ пиктографический указатель	Упрощенный (без отвлекающих деталей) силуэт объекта, выполненный в проекции на плоскость, в которой осуществляется его перемещение Иначе	1 0
	б) цвет (для пиктографических указателей не применять)	Часть указателя от оси вращения до кончика, указывающего на отметки шкалы, имеет тот же цвет, что и отметки, остальная часть указателя имеет тот же цвет, что и плоскость циферблата Иначе	1 0
	в) расположение стрелки относительно плоскости циферблата	Указатель должен быть расположен максимально близко к поверхности циферблата, чтобы к минимуму свести ошибку за счет параллакса Иначе	1 0

2.9. Адекватность оформления циферблата	г) при необходимости производить отсчет по головной и хвостовой части указателя	Хвостовая часть указателя должна отстоять от центра вращения на расстоянии, равном $1-3/4$ длины головной части, но должна быть тупой, а не заостренной Иначе	1 0
	д) в случае особо точного чтения	Стрелку располагать в плоскости шкалы или применять зеркальную подкладку на шкалу под стрелку Иначе	1 0
	а) в зависимости от задачи считывания	Гнижная часть циферблата закрыта Иначе	1 0
	++ для операций слежения	Циферблат открыт полностью Иначе	1 0
	б) при движении стрелки	Значения чисел на циферблате увеличиваются по часовой стрелке Иначе	1 0
	в) при движении циферблата	Значения чисел на циферблате увеличиваются против часовой стрелки Иначе	1 0

1	2	3	4
2.10. Расположение шкал	а) для вертикальных, а также горизонтальных (линейных и дуговых) шкал	Располагать симметрично по отношению к осям приборов Иначе	1 0
	б) для наклонных (дуговых) шкал	Располагать симметрично по отношению к диагонали прибора Иначе	1 0
2.11. Расположение отметок	а) для горизонтальных (линейных и дуговых) шкал	Располагать слева Иначе	1 0
	б) для вертикальных шкал (кроме измерений глубины)	Начальную отметку располагать внизу Иначе	1 0
	в) для наклонных (дуговых) шкал	Начальную отметку располагать в левой нижней части циферблата Иначе	1 0
	г) для круговых шкал	+ отдельный прибор "О" располагать на "9" или "12" ч Иначе ++ БИ (из нескольких однотипных И) "О" у всех приборов располагать на "9" (или "12") ч Иначе	1 0 1 0

III. Показатели пространственного различения

III. Показатели пространственного различия			
3.1. Линейные размеры элементов шкал	а) зависимость высоты и ширины отметок от диаметра шкалы	Согласно табл. 13 Иначе	1 0
	б) зависимость высоты отметок от их расстояния до наблюдателя	Согласно табл. 14 Иначе	1 0
	в) зависимость ширины отметок от длины шкалы	Согласно табл. 15 Иначе	1 0
	г) зависимость высоты отметок от длины шкалы	Согласно табл. 16 Иначе	1 0
	д) максимальный диаметр шкалы в зависимости от количества отметок на шкале и расположения шкалы от наблюдателя	Согласно табл. 17 Иначе	1 0
3.2. Угловые размеры шкалы	Оценивается для базы линейной шкалы, диаметра круговой и хорды, стягивающей базу дуговой шкалы	Находится в пределах 2,5°—10, 1° Иначе	1 0
3.3. Угловые размеры делений и отметок шкалы	Для нормальных условий освещения	а) величина наименьшего деления (Δ) б) высоты отметок А, В, С (h_A , h_B , h_C соответственно)	1 0 1 0

1	2		3	4
		в) ширина отметки $A(I_A)$	$I_A = 1,3' \div 4'$ Иначе	1 0
		г) соотношение между шириной отметок А, В, С (I_A, I_B, I_C соот- ветственно)	$I_A \geq I_B \geq I_C$ Иначе	1 0
3.4. Угловые размеры букв и цифр	а) по высоте (h)		Согласно табл. 18 Иначе	1 0
	б) по ширине (l)		Для цифр и узких букв $\frac{2}{3} \cdot h \leq l \leq h$, для ши- роких букв (Ш, Ж, W, т и т.п.) $\frac{13}{15} \cdot h \leq l \leq \frac{9}{5} \cdot h$ Иначе	1 0
	в) по толщине обводки		Согласно табл. 19 Иначе	1 0
3.5. Угловая ширина указа- теля	Для механических и световых (подвиж- ных и неподвижных) указателей		Равна ширине наименьшей из отступок Иначе	1 0
3.6. Относи- тельное распо- ложение указа- теля и элемен- тов шкалы	Для всех видов шкальных и пикто- риальных И счетное устройство	+ указатель не дол- жен перекрывать от- счетное устройство	Оцифровка, поясняющие обозначения (коды функциональных зон) расположены на проти- воположной от указателя стороне циферблата Перекрывается им	1 0
.		++ расстояние от кон- чика указателя до от- меток шкалы	Находится в пределах от 0,4÷0,8 до 1,6 мм Иначе	1 0

3.7. Угловые размеры пиктограмм	а) в целом (по наибольшему линейному размеру)	В пределах 20÷40' Иначе	0 1
	б) для каждой мельчайшей детали (существенного для понимания смысла сообщения элемента пиктограммы, имеющего среди других наименьшие линейные размеры)	В пределах 2÷4' Иначе	1 0
	в) по толщине обводки	Согласно табл. 19 Иначе	1 0
3.8. Полезная площадь индикации	Представляет собой отношение площади, занимаемой отсчетным устройством, ко всей площади проекции прибора на фронтальную плоскость	Максимальная (для сравниваемых И), но не менее 0,5, Иначе	1 0
IV. Светотехнические показатели			
4.1. Освещенность	а) неосвещающихся И	Красным светом, не менее 0,3—1,0 лк Иначе	1
	б) самосвещающихся И	Белым светом, не менее 60 лк Менее	1 0
	в) при световой адаптации	Красным светом, 0,3—1,0 лк Иначе	1 0
	г) при световой адаптации	Белым светом, не менее 20—30 лк Более	1 0

1	2	3	4
4.2. Яркость	Светящихся на просвет или само-светящихся. И	+ при темновой адаптации ++ при световой адаптации +++ при переменной адаптации	Ахроматическое свечение, 0,07÷0,34 лк Иначе Ахроматическое (хроматическое) свечение 25—30 нт Иначе Предусмотрена автоматическая (или ручная) регулировка яркости Не предусмотрена
4.3. Блесткость	Вызываемая источником подсветки на поверхности отсчетного устройства при углах обзора от 0 до 45° к нормали	Отсутствует Имеется	1 0
4.4. Вид ахроматического контраста	Для всех индикаторов, кроме ЭЛТ	а) при постоянной или переменной адаптации к яркости менее 0,34 нт б) при постоянной адаптации к яркости не менее 0,34 нт	Прямой контраст (черное на белом, темное на светлом) Иначе Обратный контраст (белое на черном, свет- лое на темном) Иначе
			1 0

4.5. Величина ахроматического контраста	а) при прямом контрасте		В пределах $65 \div 95\%$ Иначе	1 0
	б) при обратном контрасте	+ для несамосвещающихся И	В пределах $65 \div 95\%$ Иначе	1 0
		++ для самосвещающихся И	Не менее 20% Иначе	1 0
4.6. Хроматический контраст	а) на белом (светло-сером, кремовом фоне)		Насыщенные цветовые тона, согласно цветовому коду (критерии 2.5, б) Иначе	1 0
	б) на черном (темно-сером) фоне		Оранжевый (желтый, красный) Иначе	1 0
	в) на цветовом монохроматическом фоне		Использованы: зеленый на красном, красный на синем (голубом, зеленом); голубой (синий) на желтом (красном); черный на малонасыщенных цветовых тонах (зеленом, красном, желтом, голубом); другие сочетания, читаемость которых экспериментально проверена Использованы другие сочетания, читаемость которых экспериментально не проверена	1 0

Таблица 11

Рекомендуемые разделяющие интервалы между знаками

Дистанция наблюдения	Вид контраста знака с фоном	Рекомендуемые дистанции (в долях от высоты знаков, выраженной в угловых минутах)			
		Между знаками в блоке		Между блоками	
		по гориз.	по вертик.	по гориз.	по вертик.
Не более 1000	Темный знак на светлом фоне	$\frac{1}{8} - \frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{3} - \frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
	Светлый знак на темном фоне	$\frac{1}{13} - \frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{2} - \frac{2}{3}$	1
Больше 1000	Темный знак на светлом фоне	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3} - \frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
	Светлый знак на темном фоне	$\frac{1}{8}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{2} - \frac{2}{3}$	1

Таблица 12

Количество отметок (вида В и С) между оцифрованными отметками

Число интервалов квантования оцифрованного интервала	Количество неоцифрованных отметок		
	В	С	Всего
2	1	0	1
5	4	0	4
10	1	8	9
	4	5	9

Таблица 13

**Зависимость высоты и ширины отметок от диаметра
или длины шкалы (расстояние наблюдения до 2 м)**

Диаметр или длина шкалы, мм	Размеры отметок, мм					
	А		В		С	
	Высота	Ширина	Высота	Ширина	Высота	Ширина
До 17,5	1,5—2,5	0,1—0,25	1,0—1,7	0,1—0,15	0,5—1,0	0,05—0,01
17,5—35	1,5—3,0	0,15—0,3	1,25—2,25	0,1—0,2	0,75—1,50	0,05—0,15
35—60	2,0—5,0	0,15—4,0	1,5—4,0	0,1—0,3	1,00—2,5	0,05—0,2
60—90	3,0—6,0	0,25—0,75	2,0—4,5	0,1—0,4	1,25—3,0	0,05—0,25
90—160	3,5—10	0,3—1,0	2,5—7,0	0,15—0,6	1,5—5,0	0,05—0,4

Примечание. Для некруговых шкал следует пользоваться длиной шкалы, которая определяется расстоянием между крайними отметками на линейной шкале и длиной дуги между ними на дуговой шкале.

Таблица 14

**Зависимость высоты отметок от их расстояния
до наблюдателя**

Расстояние до наблюдателя, м	Высота отметки, мм		
	Виды отметок		
	А	В	С
До 0,51	5,6	4,1	2,3
0,51—0,91	10,2	7,1	4,3
0,91—1,83	19,8	14,2	8,6
1,83—3,65	40,0	28,4	17,3
3,65—6,10	67,0	47,5	28,6

Таблица 15

Зависимость ширины отметок от длины* шкалы

Длина шкалы, мм	Ширина отметок, мм		
	Виды отметок		
	А	В	С
До 30	0,2—0,5	0,2—0,3	0,1—0,3
30—60	0,3—0,6	0,2—0,4	0,1—0,3
60—100	0,3—1,0	0,2—0,6	0,1—0,4
100—150	0,5—1,5	0,2—0,8	0,1—0,5
150—300	1,5—2,0	1,0—1,50	0,5—1,0
300—600	2,0—4,0	1,15—3,0	0,7—2,5

* Длина определяется: для линейной шкалы расстоянием между крайними отметками, а для дуговых и круговых шкал — по длине дуги между крайними отметками.

Таблица 16

Зависимость высоты отметок от длины шкалы

Условная длина шкалы, мм	Высота отметок, мм		
	Виды отметок		
	А	В	С
До 30	3,5—5,0	2,0—3,5	1,0—2,0
30—60	3,5—5,0	2,5—4,5	1,5—3,0
60—100	4,0—10,0	3,0—8,0	2,0—5,0

Максимальный диаметр шкалы в зависимости от количества отметок на шкале
и расположения шкалы от наблюдателя

Расположе- ние шкалы от наблю- дателя, м	Количество отметок на шкалах											
	5	9	19	38	50	70	100	150	200	250	300	350
	Максимальный диаметр шкалы, см											
0,5	—	—	—	—	—	2,5	3,65	5,4	7,3	9,2	10,9	12,7
0,9	—	—	—	2,5	3,25	—	6,55	9,9	13,0	16,3	19,6	22,9
1,8	—	—	2,5	—	6,53	—	13,1	19,6	28,1	32,7	39,2	45,7
3,7	—	2,5	—	—	13,1	—	26,1	39,2	52,2	55,3	78,4	91,4
6,1	2,5	—	—	—	21,8	—	43,4	65,3	87,1	108,9	130,6	152

Таблица 18

Рекомендуемая высота букв и цифр (h , угл. мин)

Характер применения	Яркость, нит	
	0,1—3,4	3,4—30,0
Критические метки, изменяемое положение (на счетчиках, подвижных шкалах, в подвижных формулярах)	21,8—33,0	12,8—21,8
Критические метки, фиксированное положение (на неподвижных шкалах, формулярах, табло)	15,8—33,0	10,7—21,8
Некритические метки (опознавательные этикетки, рабочие инструкции, опознавательные надписи)	5,6—21,8	5,6—21,8

Таблица 19

Рекомендуемая толщина обводки для букв, цифр и пиктограмм

Дистанция наблюдения, мм	Вид контраста знака с фоном	Толщина обводки в долях высоты знаков, выраженной в угловых минутах
Не больше 1000	Темный знак на светлом фоне	$\frac{1}{8} - \frac{1}{6}$
	Светлый знак на темном фоне	$\frac{1}{13} - \frac{1}{8}$
Больше 1000	Темный знак на светлом фоне	$\frac{1}{6}$
	Светлый знак на темном фоне	$\frac{1}{8}$

Установленные в результате исследования фактические значения показателей документируются (как это сделано в тексте заданий).

4. Сопоставить фактические значения показателей с рекомендуемыми в табл. 10 и выставить частные оценки: «1», если фактическое значение показателя соответствует рекомендуемому, и «0», если оно ему не соответствует (см. четвертый и пятый столбцы табл. 10). Результаты оценки удобно представить в виде таблицы с необходимыми пояснениями (табл. 20).

Таблица 20

Результаты оценки индикатора

Индекс показателя	Вариант применения показателя	Частная оценка	Замечания и рекомендации
1	2	3	4
1.1	в) ++	1	Нет сигнализации об отказе индикатора; она нужна
1.2	а)	1	
2.1	—	0	
...	...	...	
3.6	+	1	
$\Sigma 1$		27	
$\Sigma 0$		15	
Оц		0,642	
σ (Оц)		0,0739	

5. Рассчитать общую оценку (Оц) и ее стандартную ошибку ($\sigma_{\text{Оц}}$):

$$\text{Оц} = \frac{\Sigma 1}{\Sigma 1 + \Sigma 0}, \quad (1)$$

где $\Sigma 1$ — суммарное число случаев, когда имеет место соответствие инженерно-психологических показателей качества индикатора инженерно-психологическим требованиям к нему; $\Sigma 0$ — суммарное число случаев, когда соответствия нет. Очевидно, $\Sigma 1 + \Sigma 0$ — это общее число используемых показателей. Поэтому общая оценка (1), которая изменяется в пределах

$$0 \leq \text{Оц} \leq 1,$$

имеет смысл эмпирической вероятности и служит мерой соответ-

ствия инженерно-психологических показателей качества индикатора инженерно-психологическим требованиям.

$$\sigma_{\text{Оц}} = \sqrt{\frac{\text{Оц}(1 - \text{Оц})}{\Sigma 1 + \Sigma 0}}, \quad (2)$$

где $\sigma_{\text{Оц}}$ — имеет смысл среднеквадратической погрешности в оценке вероятности. Значения сумм частных оценок подсчитываются прямо в табл. 20 и заносятся в нее вместе со значениями общей оценки и ее стандартной ошибки.

Таблица 21

**Несоответствие фактических и рекомендуемых значений
инженерно-психологических показателей качества индикатора**

Индекс и наименование показателя, вариант его применения	Значения показателя	
	фактические	рекомендуемые
1	2	3
...	...	...

6. Выполнить анализ показателей, значения которых у оцениваемого индикатора не соответствуют инженерно-психологическим требованиям (получили «нулевые» оценки). Сопоставить фактические и рекомендуемые (по табл. 10—19) значения этих показателей в табл. 21. Первый и третий столбцы табл. 21 заполняются на основе табл. 10—19, а второй — столбец — по результатам исследования.

7. Подготовить отчет об экспертной инженерно-психологической оценке индикатора по следующей форме:

**Отчет об экспертной инженерно-психологической
оценке индикатора**

1. Индикатор (наименование, краткое описание, эскиз лицевой части).
2. Инженерно-психологические показатели качества индикатора, использованные для оценки (приводится окончательный перечень показателей).
3. Фактические значения инженерно-психологических показателей качества индикатора (приводятся результаты исследования этих значений в виде таблицы или необходимого текста).
4. Результаты оценки (как в табл. 20).
5. Результаты анализа несоответствий (табл. 21 и необходимые пояснения).
6. Выводы.
7. Рекомендации.

Число

Фамилия, инициалы
и подпись эксперта

В выводах следует привести значения общей оценки и ее стандартной погрешности ($O_{\Sigma} \pm \sigma_{O_{\Sigma}}$), а также общее число оценивавшихся показателей; перечислить показатели, значения которых не соответствуют инженерно-психологическим требованиям. В рекомендациях надо в лаконичной и понятной форме сообщить, что следует сделать, чтобы привести эти показатели в соответствие с требованиями.

Задание 1

Выполнить инженерно-психологическую оценку указателя курса, изображенного на рис. 23, *а*. Сведения, необходимые для исследования фактических значений инженерно-психологических

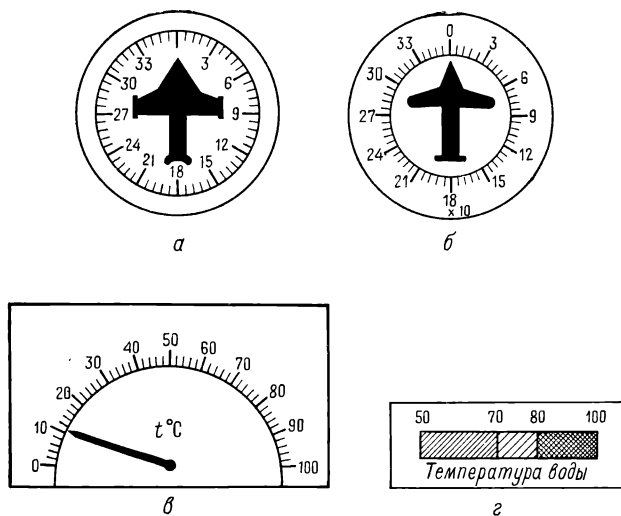


Рис. 23. Варианты индикаторов для экспертной инженерно-психологической оценки.

а, б — указатели курса; *в, г* — указатели температуры воды

показателей качества: дистанция наблюдения 720 мм; угол наблюдения 0 град, диаметр лицевой части 110 мм, диаметр круговой шкалы 80 мм; величина наименьшего деления 4 мм; высота отметок, А и В соответственно 5 и 3 мм, ширина этих отметок 1 и 0,5 мм; высота, ширина и толщина обводки цифр соответственно 5×3×0,5 мм; длина пиктографического указателя 54 мм; сигнализация отказа не предусмотрена; не относящиеся к чтению показаний надписи и штампы на лицевой части прибора отсутствуют.

Задание 2

Выполнить инженерно-психологическую оценку индикатора температуры воды, показанного на рис. 23, в. Сведения, необходимые для исследования фактических значений инженерно-психологических показателей качества индикатора: используется для контроля температуры воды, охлаждающей двигатель; температура воды во время работы двигателя практически изменяется от 50 до 100°C, причем нормальная работа гарантирована при температурах от 50 до 70°C, а при ее повышении от 80 до 100°C двигатель перегревается и может выйти из строя; дистанция наблюдения 500 мм; угол визирования в пределах 10 град; шкала полукруговая с радиусом 30 мм, величина наименьшего деления 2,9 мм; высота отметок А и В соответственно 3 и 2 мм; их ширина 0,5 и 0,3 мм; высота, ширина и толщина обводки цифр и букв соответственно 2×1×0,5 мм; ширина стрелки-указателя 0,5 мм; сигнализация об отказе индикатора не предусмотрена.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каковы основные инженерно-психологические показатели качества индикаторов?
2. Какой смысл имеет количественная оценка индикатора с позиций инженерной психологии?
3. Каковы основные этапы процедуры оценки и получаемые результаты?
4. О чем должна идти речь в отчете эксперта?

ЛИТЕРАТУРА

1. Вудсон У., Коновер Д. Справочник по инженерной психологии для инженеров и художников-конструкторов. М., 1968, с. 65—120.
2. Инженерная психология в применении к проектированию оборудования. М., 1971, с. 50—106.
3. Крылов А. А. Человек в автоматизированных системах управления. Л., 1972, с. 109—113.
4. Методология исследований по инженерной психологии и психологии труда. Часть 2. Л., 1975. 160 с.

ЗАНЯТИЕ 21. ЭКСПЕРТНАЯ ИНЖЕНЕРНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ГРУППЫ ИНДИКАТОРОВ

Несколько индикаторов, объединенных по какому-либо основанию, образуют группу индикаторов. Экспертная инженерно-психологическая оценка группы индикаторов состоит в установлении и количественном выражении соответствия инженерно-психологических показателей качества индикаторов, образующих группу, инженерно-психологическим требованиям к этим

индикаторам, определяемым физиологическими, психофизиологическими и психологическими свойствами человека, которые обуславливают эффективность чтения и понимания показаний индикаторов данной группы.

Цель занятия — самостоятельное выполнение экспертной инженерно-психологической оценки двух групп индикаторов.

МЕТОДИКА

Для инженерно-психологической оценки группы индикаторов эксперту необходимо выполнить следующую процедуру.

1. Ознакомиться с назначением группы и отдельных индикаторов, уяснить роль каждого из них в работе человека-оператора.

Таблица 22

Результаты оценки группы индикаторов (обозначения в тексте)

Индикаторы		Оц _i	σ (Оц _i)	m_i
Вид (i)	Количество (n _i)			
1	n ₁	Оц ₁	σ (Оц ₁)	m ₁
...	...	...	...	...
k	n _k	Оц _k	σ (Оц _k)	m _k
Групповая оценка		Оц _г		
Стандартная ошибка		σ (Оц _г)		

2. Если среди индикаторов имеются одинаковые¹ (одного вида), то выполнить разбиение группы на подмножества одинаковых, так чтобы группа из N индикаторов была представлена k подмножествами, в каждом из которых n_i одного вида:

$$N = \sum_{i=1}^k n_i, \quad (3)$$

где $i=1, k$ и, очевидно, $1 < n_i < N$, так как, если $n_i=1$, то $k=N$, и все индикаторы в группе разные, а если $n_i=N$, то $k=1$, и все индикаторы в группе одного вида. Таким образом, в группе из N индикаторов имеется $1 \leq k \leq N$ различных (разного вида).

3. Для каждого из различных индикаторов группы выполнить инженерно-психологическую оценку по методике, рассмотренной в предыдущем занятии. Результаты оформить в виде табл. 22.

¹ По оформлению (типовой прибор), назначению (измерение температуры) и роли (количественное чтение). У одинаковых индикаторов одинаковые инженерно-психологические показатели качества.

4. Выполнить расчет групповой оценки и ее стандартной ошибки:

$$O_{цг} = \frac{1}{\sum_{i=1}^k n_i m_i} \sum_{i=1}^k O_{цi} n_i m_i, \quad (4)$$

где $O_{цг}$ — групповая оценка; $O_{цi}$ — оценки индикатора i -го вида; n_i — число индикаторов i -го вида; m_i — количество инженерно-психологических показателей, учитываемых при оценке индикаторов i -го вида; $i = \overline{1, k}$ — номера различных индикаторов (нумерация произвольная).

$$\sigma(O_{цг}) = \sqrt{\frac{O_{цг}(1 - O_{цг})}{\sum_{i=1}^k n_i m_i}}, \quad (5)$$

где $\sigma(O_{цг})$ — стандартная ошибка групповой оценки и $\sum_{i=1}^k n_i m_i$ — общее число инженерно-психологических показателей, участвовавших (однократно или многократно) в оценке группы индикаторов.

Таблица 23

Несоответствие фактических и рекомендуемых значений инженерно-психологических показателей качества группы индикаторов

Индекс и наименование показателя, вариант его применения	Значения показателя		Номера (или наименования) различных индикаторов, имеющих несоответствие по этому показателю
	фактические	рекомендуемые	
1	2	3	4
...	...	...	...

Поскольку групповая оценка, вычисляемая по (4) как среднее арифметическое из оценок отдельных индикаторов, изменяется от нуля до единицы, она имеет смысл эмпирической вероятности и служит мерой соответствия инженерно-психологических показателей качества группы индикаторов инженерно-психологическим требованиям. Значения групповой оценки и ее стандартной ошибки заносятся в табл. 22.

5. Если имеются несоответствия между фактическими и требуемыми значениями инженерно-психологических показателей качества у некоторых (или всех) индикаторов разного вида, то по результатам анализа этих несоответствий следует выполнить их сводку в табл. 23. Важно помнить, что согласно определению групповой оценки (4) соответствия и несоответствия тиражиру-

ются при увеличении n_i — количества однотипных индикаторов. Это необходимо учесть при анализе табл. 23 и отметить в выводах и рекомендациях при составлении отчета.

6. Подготовить отчет об экспертной инженерно-психологической оценке группы индикаторов по следующей форме:

**Отчёт об экспертной инженерно-психологической
оценке группы индикаторов**

1. Описание группы индикаторов (наименование, назначение, особенности использования, разбиение на подмножества одинаковых).
2. Инженерно-психологическая оценка индикаторов разного вида (по форме отчета Занятия 20).
3. Результаты оценки (табл. 22 с необходимыми пояснениями).
4. Результаты анализа несоответствий (табл. 23 и необходимые пояснения).
5. Выводы.
6. Рекомендации.

Число

Фамилия, инициалы
и подпись эксперта

В выводах необходимо резюмировать проделанную работу, привести значение групповой оценки и ее стандартной погрешности, а также общее число оценивавшихся показателей $\left(\sum_{i=1}^k n_i m_i\right)$; перечислить показатели, значения которых не соответствуют инженерно-психологическим требованиям, и подчеркнуть, сколь важны эти несоответствия, если они тиражируются в однотипных индикаторах. Рекомендации оформляются, как в Занятии 20.

Задание 1

Вычислить инженерно-психологическую оценку для группы из восемнадцати индикаторов по данным, представленным в табл. 24.

Таблица 24

**Исходные данные для инженерно-психологической оценки
группы индикаторов**

Индикаторы		Оценки	Количество показателей
Вид	Количество		
Авиагоризонт	2	0,92	40
Вариометр	1	0,88	40
Указатель курса	1	0,93	42
Высотомер	1	0,85	40
Указатель поворота	1	0,82	40
Указатель числа оборотов	4	0,90	40
Сигнализаторы	8	0,95	10

Задание 2

Выполнить инженерно-психологическую оценку индикации охлаждения двух двигателей. Охлаждение водяное, осуществляется по замкнутому циклу отдельно для каждого из двигателей двумя питательными насосами, резервирующими друг друга. Состояние каждого насоса (включен или выключен) индицируется на сигнализаторах (см. *а* на рис. 24). Температура охлаждающей воды для каждого из двигателей определяется по указателю температуры воды (*в* на рис. 23).

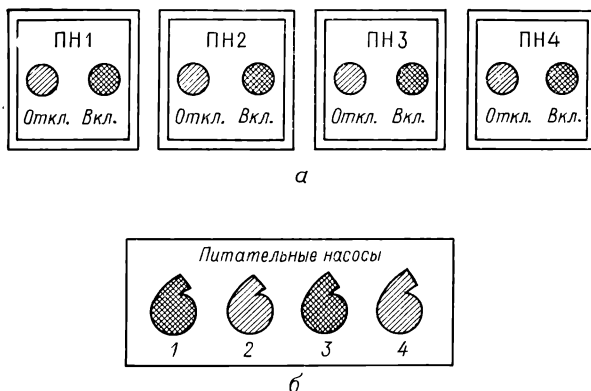


Рис. 24. Два варианта (*а*, *б*) индикации состояния питательных насосов.

Объяснения в тексте.

Сведения, необходимые для исследования индикаторов группы, таковы: нормальное охлаждение работающего двигателя достигается при температуре воды в пределах $50 \div 70^\circ\text{C}$. Температуры ниже, чем 50°C , при работающих двигателях не бывает. Если температура воды достигает $80 \div 100^\circ\text{C}$, двигатели перегреваются и могут выйти из строя. Во избежание перегрева двигателя при опасном повышении температуры охлаждающей воды оператор должен подключить резервный насос. Таким образом, в норме работают два насоса, а при перегреве могут работать и три, и все четыре. Линейные размеры элементов отсчетного устройства указателя температуры (см. *в* на рис. 23) приведены в Занятии 20 (см. Задание 2). Линейные размеры сигнализаторов состояния питательных насосов (*а* на рис. 24) таковы: лицевая часть сигнализатора — это квадрат со стороной 35 мм; отсчетное устройство — квадрат со стороной 30 мм; диаметр линз, прикрывающих сигнальные лампы, 8 мм; расстояние между краями линз равно 8 мм; высота, ширина и толщина обводки букв и цифр соответственно $5 \times 3 \times 0,3$ мм; расстояние от края линз до

края надписей (вверх и вниз) составляет 6 мм. Нерабочее (Откл.) и рабочее (Вкл.) состояния питательного насоса сигнализируются соответственно зеленым и красным светом (так принято в отрасли). Дистанция наблюдения 500 мм, угол визирования в пределах 10 град. Сигнализацией отказа индикатора служит погасание обоих «глазков».

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что собой представляет и какой может быть группа индикаторов?
2. Какой смысл имеет количественная групповая оценка с позиций инженерной психологии?
3. Каковы основные этапы процедуры оценки и получаемые результаты?
4. Каковы структура и содержание отчета эксперта?

ЗАНЯТИЕ 22. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭКСПЕРТНАЯ ИНЖЕНЕРНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ИНДИКАТОРОВ

Сравнительная экспертная инженерно-психологическая оценка индикаторов состоит в сравнении нескольких индикаторов или групп индикаторов по их количественным оценкам для выбора наилучшего варианта или установления эквивалентности вариантов. Вариантами считаются различные индикаторы (группы индикаторов), которые можно использовать для решения одной и той же оперативной задачи (или класса задач). Наилучшим вариантом считается тот, у которого наибольшее число инженерно-психологических показателей качества соответствует инженерно-психологическим требованиям. Эквивалентными считаются варианты, для которых различия в количествах инженерно-психологических показателей качества, отвечающих инженерно-психологическим требованиям, статистически не достоверны. Наихудшим вариантом считается тот, у которого наименьшее число инженерно-психологических показателей качества соответствует инженерно-психологическим требованиям. Равноценными считаются варианты, имеющие равные количественные оценки и стандартные ошибки этих оценок. Эквивалентные варианты по определению неравноценны. Поэтому среди эквивалентных существуют наилучший и наихудший варианты. В свою очередь возможны подмножества эквивалентных наилучших и эквивалентных наихудших вариантов.

Цель занятия — выполнить сравнительную инженерно-психологическую оценку двух вариантов индикатора и двух вариантов группы индикаторов.

МЕТОДИКА

Для сравнительной инженерно-психологической оценки индикаторов эксперту необходимо выполнить следующую процедуру:

1. Для каждого из сравниваемых вариантов выполняется инженерно-психологическая оценка по методике, изложенной в Занятии 20, если сравниваются отдельные индикаторы, или по методике, рассмотренной в Занятии 21, если сравниваются группы индикаторов.

2. По результатам оценки вариантов индикатора составляется сводная таблица инженерно-психологических показателей, которые использовались для оценки всех вариантов, частных оценок по вариантам, сумм «нулей» и «единиц», общих оценок и их стандартных ошибок для каждого из вариантов (табл. 25). Множество инженерно-психологических показателей, приводимое в этой таблице, получают, объединяя подмножества показателей, использованных для оценки отдельных вариантов (в табл. 25

Таблица 25

Результаты инженерно-психологической оценки вариантов индикатора
($j=1, s$ — номера вариантов)

Индекс и вариант применения показателя	Частные оценки вариантов индикатора				
	1-го	...	j -го	...	s -го
1·1· в) ++	1	...	1.	...	0
1·2· а)	1	...	—	...	1
2·1	—	...	0	...	—
...	...	...	...	...	...
$\Sigma 1$					
$\Sigma 0$					
$O_{цj}$					
$\sigma (O_{цj})$		...		...	

сделан прочерк, если показатель не использован в оценке варианта).

Если сравниваются варианты группы индикаторов, то по результатам оценки вариантов составляется сводная таблица инженерно-психологических показателей, сумм частных оценок по вариантам и других числовых данных, как показано в табл. 26. В этой таблице содержится вся информация, необходимая для количественного и качественного сравнения.

3. Количественное сравнение вариантов производится следующим образом.

а) По данным табл. 25 или 26 вычисляются для каждого ва-

рианта дополнения оценки ($1 - \text{Оц}_j$) и заносятся вместе с оценками в табл. 27. В последней строке этой таблицы записывают общее число использованных для оценки j -го варианта инженерно-психологических показателей. Это число представляет собой $\Sigma 0 + \Sigma 1$ из табл. 25, если сравниваются варианты индикатора, или $\Sigma \Sigma 0 + \Sigma \Sigma 1$ из табл. 26, если сравниваются группы индикаторов. Заметим, что дополнение ($1 - \text{Оц}_j$) имеет смысл вероятностной

Таблица 26

Результаты инженерно-психологической оценки вариантов группы индикаторов ($j = \overline{1, s}$ — номера вариантов группы)

Индекс и вариант применения показателя	Суммы частных оценок для вариантов группы				
	1-го		...	s-го	
	$\Sigma 0$	$\Sigma 1$		$\Sigma 0$	$\Sigma 1$
...	...	...	...	...	...
$\Sigma \Sigma 0$	...	—	...	...	—
$\Sigma \Sigma 1$	—	...	...	—	...
Оц_{rj}	...	...	...	...	...
$\sigma(\text{Оц}_{rj})$	...	...	...	...	...

меры невыполнения инженерно-психологических требований для j -го индикатора. Поэтому j -я оценка вместе со своим дополнением образует условное распределение событий, состоящих соответственно в выполнении или невыполнении инженерно-психологических требований к показателям качества индикаторов. Столбцы табл. 27, таким образом, представляют собой эмпирические условные распределения. Теперь сравнение вариантов сводится к проверке гипотез о статистической однородности (неоднородности) распределений.

Таблица 27

Матрица условных распределений для сравнения вариантов индикатора (или группы индикаторов)

	Номера вариантов					
	1	2	...	j	...	s
Оценки			...		...	
Дополнения оценок			...		...	
Число использованных показателей			...		...	

б) Вычисляют эмпирическое значение χ^2_{Σ} -критерия Пирсона:

$$\chi^2_{\Sigma} = \sum_{j=1}^s N_j \left\{ \frac{O_{цj}^2}{O_{ц}^*} + \frac{(1 - O_{цj})^2}{(1 - O_{цj})^*} \right\} - 1, \quad (6)$$

где N_j — общее количество критериев, а также $O_{цj}$ — оценки и $(1 - O_{цj})$ — их дополнения берутся из табл. 27; $j = \overline{1, s}$ — номера вариантов; величины $O_{ц}^*$ и $(1 - O_{цj})^*$ — средние значения из оценок и их дополнений:

$$O_{ц}^* = \frac{1}{\sum_{j=1}^s N_j} \sum_{j=1}^s O_{цj} N_j, \quad (7)$$

$$(1 - O_{цj})^* = 1 - O_{ц}^* = \frac{1}{\sum_{j=1}^s N_j} \sum_{j=1}^s (1 - O_{цj}) N_j. \quad (8)$$

Два способа вычислений по формуле (8) следует использовать для проверки правильности вычислений. Если сравниваются варианты группы индикаторов, то в формулы (6), (7) и (8) вместо $O_{цj}$ и $(1 - O_{цj})$ следует подставить $O_{цrj}$ и $(1 - O_{цrj})$.

в) Вычисляют число степеней свободы (ν), которое равно общему числу сравниваемых вариантов без единицы:

$$\nu = s - 1. \quad (9)$$

г) По таблицам квантилей χ^2 -распределения для вычисленного значения γ выбирают теоретическое значение квантиля $\chi^2_{1-\alpha; \nu} = \chi^2_{\Sigma}$ и определяют вероятность ошибки первого рода (α), т. е. вероятность ошибочно отклонить гипотезу о различии вариантов индикации. Эта гипотеза принимается с доверительной вероятностью $1 - \alpha$. Практически, если $\alpha = 0,05 \div 0,10$, то гипотеза о различии вариантов принимается; если же $\alpha > 0,1$, то принимается альтернативная гипотеза о сходстве (эквивалентности) вариантов.

4. Качественное сравнение вариантов возможно лишь при условии, что подмножества показателей, использованных для оценки вариантов, имеют общую часть. Если это условие выполнено, то необходимо по табл. 25 или 26 провести анализ инженерно-психологических показателей, частные оценки (или их суммы) для которых различаются. По результатам этого анализа делают выводы и рекомендации.

5. Подготавливается отчет о результатах сравнительной оценки индикаторов (групп индикаторов) по следующей форме:

Отчет о сравнительной экспертной инженерно-психологической оценке вариантов индикатора (групп индикаторов)

1. Описание вариантов (наименование, назначение индикатора или группы индикаторов, их отличия и сходные черты).
2. Инженерно-психологическая оценка вариантов (по форме отчета из Занятия 20 для индикатора или из Занятия 21 для группы индикаторов).
3. Результаты количественного и качественного сравнения (табл. 25 или табл. 26; значения $\chi^2_{\text{э}}$ и принятые гипотезы; необходимые пояснения).
4. Выводы.
5. Рекомендации.

Число

Фамилия, инициалы
и подпись эксперта

В выводах лаконично резюмируется проделанная работа, приводятся значения оценок наилучшего и наихудшего из вариантов и их ошибок, перечисляются инженерно-психологические показатели, по которым различается качество наилучшего и наихудшего вариантов. Рекомендации, если они возможны, должны указывать пути улучшения вариантов с позиций инженерной психологии.

Задание 1

Выполнить сравнительную инженерно-психологическую оценку: 1) двух вариантов указателя курса (a и b на рис. 23); 2) двух вариантов указателей температуры воды (v и g на рис. 23). Варианты указателей (a и v на рис. 23 оценивались на Занятии 20). Два других индикатора требуется оценивать.

Сведения, необходимые для исследования указателя курса (см. b на рис. 23), таковы: дистанция наблюдения 720 мм; угол визирования 0° ; диаметр лицевой части 110 мм; диаметр круговой шкалы 54 мм, он равен длине пиктографического указателя; диаметр окружности, проходящей через верхнюю границу оцифровки, 80 мм; величина наименьшего деления шкалы $\approx 2,8$ мм; высота и ширина отметок А и В, а также высота, ширина и толщина обводки цифр выбраны оптимальными для заданной дистанции наблюдения; сигнализация отказа отсутствует, посторонних надписей и штампов нет.

Сведения, необходимые для исследования указателя температуры воды (см. g на рис. 23), таковы: дистанция наблюдения 500 мм, угол визирования — в пределах 10° , линейные размеры лицевой части, отсчетного устройства, букв и цифр выбраны

оптимальными для заданной дистанции наблюдения. Сигнализация отказа указателя не предусмотрена. Сведений о длине волны цветового тона нет.

Задание 2

Выполнить сравнительную инженерно-психологическую оценку двух вариантов индикации охлаждения двигателей. Первый вариант представлен группой из двух одинаковых указателей температуры воды (см. в на рис. 23) и четырех одинаковых индикаторов состояния питательных насосов (а на рис. 24). Этот вариант оценивался в Задании 2 Занятия 21. Второй вариант представлен группой из двух одинаковых указателей температуры воды (один показан на г, см. рис. 23) и одного индикатора состояний питательных насосов (б на рис. 24), который необходимо предварительно оценить. Сведения, необходимые для исследования этого индикатора, таковы: дистанция наблюдения 500 мм; линейные размеры элементов отсчетного устройства и лицевой части выбраны оптимальными для заданной дистанции; пиктограммы, сигнализирующие состояния насосов, представляют собой схематическое изображение центробежного насоса; каждая пиктограмма может светиться красным или зеленым светом (длина волны неизвестна). Индикация отказа сигнализаторов — их погасание.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что собой представляют и какими могут быть варианты индикатора (группы индикаторов)?
2. Какой инженерно-психологический смысл имеют понятия «наилучший», «наихудший», «равноценные», «эквивалентные» варианты?
3. Каковы основные этапы процедуры сравнительной оценки и получаемые результаты?
4. Каковы структура и содержание отчета эксперта?

ЛИТЕРАТУРА

1. Суходольский Г. В. Основы математической статистики для психологов. Л., 1972, с. 296—300.

ЗА Н Я Т И Е 23. ИНЖЕНЕРНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КОНСТРУКТОРСКИХ РЕШЕНИЙ ПРОЕКТИРУЕМОГО ПУЛЬТА УПРАВЛЕНИЯ

Организация инженерно-психологического контроля конструкторских решений — важная и актуальная задача, которую необходимо учитывать при внедрении новой техники. Инженер-

но-психологический контроль конструкторских решений может проводиться специалистом по инженерной психологии на различных этапах проектирования и конструирования техники, а также может выполнять различные функции в процессе проектирования: от функции коррекции конструкторских решений непосредственно во время проектирования до функции обобщающей оценки техники с точки зрения ее соответствия задачам и возможностям человека. При этом способы реализации инженерно-психологического контроля могут быть различными: от решения вопросов соответствия — несоответствия выбранных параметров технических устройств известным инженерно-психологическим требованиям и рекомендациям до проведения сложной количественной оценки средств индикации, органов управления и их компоновки. Различаются и критерии, лежащие в основе этой оценки.

Одним из важнейших инженерно-психологических критериев оценки средств индикации и органов управления, их размещения на пультах управления является надежность работы с ними человека-оператора, которая определяется как вероятность того, что задание или поставленная задача будут выполнены успешно на данной стадии работы системы «человек — машина», в заданных режимах эксплуатации и в течение определенного периода времени. Количественно надежность человека определяется числом отказов:

$$P = 1 - \frac{d}{N}, \quad (1)$$

где d — число отказов человека-оператора за определенный период работы; N — общее число операций (т. е. обращений к средствам индикации и органам управления) за этот же период.

Надежность работы человека обуславливается в основном следующими факторами:

- индивидуальными свойствами и особенностями человека;
- уровнем его обученности и тренированности;
- инженерно-психологическим соответствием техники (особенно тех ее элементов, которые вступают в непосредственный контакт с человеком, т. е. средств индикации и органов управления) задачам и возможностям человека-оператора.

В данной работе учитывается при инженерно-психологической оценке влияние на надежность последнего из перечисленных факторов.

Цель занятия — изучение методов инженерно-психологического контроля конструкторских решений по выбору параметров средств индикации органов управления, а также количественной оценки проектируемого пульта управления с целью прогнозирования надежности работы человека-оператора.

Задание 1

Провести оценку конструкторского решения по выбору параметров средств индикации и органов управления с точки зрения обеспечения максимальной надежности работы человека-оператора.

МЕТОДИКА

Материалом для инженерно-психологической оценки служат чертежи или макеты средств индикации и органов управления, к которым прилагаются основные технические требования по их проектированию.

Работа выполняется индивидуально в соответствии с заданным вариантом, в котором предусматриваются типы средств индикации и органов управления, подлежащих инженерно-психологической оценке по критерию надежности. Варианты заданий приведены в табл. 28.

Таблица 28

№ варианта	Тип средства индикации	Тип органа управления
1	Круговая шкала с подвижной стрелкой	Группа прямоугольных кнопок (12 кнопок в два ряда)
2	Круговая подвижная шкала типа „открытое окно“	Группа круглых кнопок (10 кнопок в один ряд)
3	Круговая шкала с цветовым кодированием зон	Ручной штурвал (маховик)
4	Линейная шкала с подвижным указателем	Ручка (рычаг) управления
5	Линейная подвижная шкала	Круглая ручка управления
6	Полукруговая шкала с подвижным указателем	Съемная рукоятка (рычаг)
7	Полукруговая подвижная шкала	Группа вертикальных двухпозиционных тумблеров (5 тумблеров в один ряд)
8	Счетчик пятиразрядный	Группа горизонтальных трехпозиционных тумблеров (10 тумблеров в два ряда)
9	Группа из 10 сигнальных ламп	Поворотный многопозиционный переключатель (10 позиций)

Оценка надежности человека-оператора в работе с теми или иными техническими устройствами основана на использовании статистических данных по отказам человека при работе с этими устройствами. Показатель надежности выполнения задания человеком в системе вычисляется как отношение числа успешных

попыток осуществления задачи к общему числу попыток. Это отношение представляет собой вероятность успеха в выполнении задания, т. е. вероятность правильного использования соответствующих средств индикации или органов управления, имеющих указанные размеры, форму и другие параметры.

Данные о надежности работы человека-оператора с различными техническими устройствами используются прежде всего в качестве руководства для выбора типа и конкретных параметров средств индикации и органов управления. В этом случае надежность работы человека-оператора (P_i) с данным средством индикации (или органом управления) определяется по формуле

$$P_i = P_1 \cdot P_2 \cdot \dots \cdot P_i, \quad (2)$$

где P_1 — показатель надежности человека по первому параметру; i — число параметров средств индикации (или органа управления).

Задание предполагает оценку по критерию надежности средств индикации и органов управления, представленных в виде чертежей или макетов, оценку показателей максимальной надежности заданных типов средств индикации и органов управления, сравнение полученных показателей между собой и решение вопросов возможной оптимизации некоторых параметров с учетом технических требований к ним.

Так как каждый орган управления или средство индикации имеет известное число размерных или характерных параметров, а каждый параметр связан с оценкой надежности работы человека, то для общей оценки необходимо использовать отдельные параметрические показатели надежности, что достигается путем перемножения этих показателей в соответствии с формулой (2).

Для упрощенных расчетов можно пользоваться формулой

$$P_i = 1 - \{ (1 - P_1) + (1 - P_2) + \dots + (1 - P_i) \}, \quad (3)$$

где обозначения те же, что и в формуле (2).

Пример расчета

Тип заданного средства индикации — барабанный счетчик. Число барабанов — 3, показатель надежности — 0,9997; длина — от 25,4 до 50,8 мм, показатель надежности — 0,9998. Общий показатель — 0,9995. При определении показателей надежности используют справочные данные [2].

Форма протокола

Отчет по работе включает расчеты показателей надежности работы человека с заданными средствами индикации и органа-

ми управления, схематические рисунки этих технических устройств и итоговый протокол по форме табл. 29.

На основе краткого анализа проведенной работы и с учетом исходных данных и полученных результатов делаются выводы о степени обеспечения критерия надежности в заданных типах средств индикации и органах управления, а также о возможности оптимизации некоторых параметров этих технических устройств.

Таблица 29

№ п/п	Тип технического устройства					
I	Средство индикации					
	№	Заданное для оценки		С оптимальными параметрами		Сравнение показателей
		Параметры	Показатели	Параметры	Показатели	
	1					
	2					
	3					
	Общий показатель			Общий показатель		
II	Орган управления					
	№	Заданный для оценки		С оптимальными параметрами		Сравнение показателей
		Параметры	Показатели	Параметры	Показатели	
	1					
	2					
	3					
	Общий показатель			Общий показатель		

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Охарактеризуйте значение и формы инженерно-психологического контроля конструкторских решений.

2. Приведите количественное определение надежности работы человека с техническими устройствами.

3. Назовите основные факторы, обуславливающие надежность человека-оператора.

4. На чем основаны данные о надежности работы человека-оператора?

5. Каким образом используются данные о надежности работы человека с техническими устройствами для оценки этих устройств и оптимизации их параметров по критерию надежности?

Задание 2

Провести прогностическую оценку надежности выполнения задания человеком-оператором при работе с пультом управления.

МЕТОДИКА

Материалом для прогностической оценки надежности человека служат действующие макеты пультов управления, к которым прилагается описание исследуемого задания, состоящего из нескольких операций.

Работа выполняется индивидуально. Количество и состав операций, входящих в задание, определяются соответствующим вариантом. Ориентировочное количество операций в задании — от 3 до 5. Ориентировочные варианты характера операций: а) восприятие показания средства индикации — действие органом управления; б) восприятие показаний нескольких средств индикации — действие органом управления; в) действие органом управления (включение или переключение) — восприятие показаний средств индикации.

Данные о надежности работы человека с различными техническими устройствами, описанные в Задании 1 и приведенные в [2], используются также для проведения анализа работы человека-оператора с техническими устройствами с целью предсказания вероятности появления ошибок при выполнении конкретного задания. На основе анализа работы человека-оператора при выполнении основных задач производится инженерно-психологическая оценка пульта управления по критерию надежности.

Показатель надежности выполнения задания человеком определяется как произведение показателей надежности выполнения отдельных операций данного задания:

$$P_z = P_{0_1} \cdot P_{0_2} \cdot \dots \cdot P_{0_i}, \quad (4)$$

где P_z — показатель надежности задания; P_{0_1} — показатель надежности выполнения первой операции; i — число операций в данном задании.

В свою очередь надежность успешного выполнения каждой операции определяется произведением показателей надежности выполнения отдельных ее элементов. В общем случае

$$P_0 = P_v \cdot P_c \cdot P_w, \quad (5)$$

где P_0 — показатель надежности выполнения операции; P_v — показатель надежности восприятия человеком входного сигнала; P_c — показатель надежности работы человека, охватывающей внутренний процесс; P_w — показатель надежности выходного отклика (т. е. правильного ответного действия) человека.

Показатель надежности восприятия человеком определенного входного сигнала зависит от параметров используемого средства индикации и определяется произведением показателей надежности по отдельным параметрам этого технического устройства. Аналогично определяется показатель надежности выходного отклика человека при работе с данным органом управления (см. методику Задания 1).

Показатель надежности работы человека, охватывающей внутренний процесс, в данной методике условно принимается равным 0,9990. Это значение для всех внутренних реакций человека выбрано произвольно, что, несомненно, снижает оценку надежности многих простых умственных процессов и несколько повышает надежность более сложных умственных процессов.

Для проведения прогностической оценки надежности человека по выполнению исследуемого задания на данном пульте управления необходимо проанализировать отдельно каждую операцию задания и расчленить ее на элементы, характеризующие входной сигнал, внутреннюю реакцию и выходной отклик. При расчетах показателей надежности следует пользоваться данными, представленными в работе [2], и формулами (2), (4), (5). Для упрощенных расчетов формулы (4), (5) можно преобразовать аналогично формуле (3).

Пример расчета показателя надежности выполнения операции

Состав и характер операции: человек воспринимает появление сигнала зеленой лампочки и приводит в действие соответствующую кнопку.

Надежность восприятия входного сигнала лампочки обуславливают следующие ее характеристики: 1) диаметр 10 мм, показатель надежности — 0,9997; 2) количество включенных лампочек — 3, показатель надежности — 0,9975; 3) индикация непрерывная, показатель надежности — 0,9996. Произведение показателей — 0,9968.

Надежность работы человека, охватывающей внутренний процесс, принимается равной 0,9990.

Выходным откликом в данном случае служит действие кнопкой, которая имеет следующие характеристики: 1) миниатюрные габариты, показатель надежности — 0,9995; 2) расположение в один ряд, показатель надежности — 0,9997; 3) расстояние между крайними положениями 10 мм, показатель надежности — 0,9993; 4) отсутствие фиксации, показатель надежности — 0,9998. Производство показателей. — 0,9983.

Показатель надежности выполнения данной операции — 0,9941.

Аналогичные расчеты выполняются для всех операций, входящих в состав исследуемого задания.

Форма протокола

Отчет по работе включает расчеты показателей надежности выполнения задания человеком на оцениваемом пульте управления, схематический рисунок пульта управления с условными обозначениями используемых средств индикации и органов управления, итоговый протокол оценки по форме таблицы:

№ операции	Состав задания			
I	№ п/п	Состав операции I		
		1	1-я составляющая операции (содержание)	
	№ параметра		Параметры техн. устройства	Показатель надежности
	Общий показатель			
	2	2-я составляющая операции (содержание)		
	Общий показатель надежн. операции			
	II	№ п/п	Состав операции II	

На основе краткого анализа проведенной работы по прогностической оценке надежности выполнения человеком-оператором задания и с учетом полученных результатов делаются выводы о степени учета человеческого фактора по критерию надежности при проектировании пульта управления, предназначенного для выполнения определенных заданий.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. На чем основано прогнозирование надежности выполнения задания человеком-оператором при работе с пультом управления?

2. Каким образом производятся расчеты вероятности безотказной работы человека с техническими устройствами оцениваемого пульта управления?

ЛИТЕРАТУРА

1. Котик М. А. Краткий курс инженерной психологии. Таллин, 1971, с. 139—141, 166.
2. Мейстер Д. Роль факторов инженерной психологии в обеспечении надежности. — В кн.: Справочник надежности. Т. III. М., 1970, с. 133—143.
3. Мейстер Д., Рабидо Дж. Инженерно-психологическая оценка при разработке систем управления. Пер. с англ. М., 1970, с. 15—33, 248—302.
4. Методология исследований по инженерной психологии и психологии труда. Часть 2. Под ред. докт. психолог. наук А. А. Крылова. Л., 1975, с. 1—160.
5. Небылицын В. Д. Надежность работы оператора в сложных системах управления. — В кн.: Инженерная психология. М., 1964, с. 358—367.
6. Небылицын В. Д. Психофизиологические исследования индивидуальных различий. М., 1976, с. 194—207.

О Г Л А В Л Е Н И Е

Введение	3
Средства отображения визуальной информации	
З а н я т и е 1. Определение объективных характеристик индикационных частей стрелочных (шкальных) контрольно-измерительных приборов (Крылов А. А.)	5
З а н я т и е 2. Сравнительная оценка читаемости стрелочных контрольно-измерительных приборов со шкалами различной формы (Никифоров Г. С.)	11
З а н я т и е 3. Исследование читаемости шкальных приборов с помощью метода математического планирования эксперимента (Суходольский Г. В., Ярославцева Е. А.)	19
З а н я т и е 4. Расчет надежности комплекса «измерительный прибор — оператор» (Никифоров Г. С.)	27
З а н я т и е 5. Определение читаемости светодиодного профильного индикатора с вертикальной шкалой в условиях различной внешней освещенности (Симоненко Ю. А.)	35
Знаковая форма представления информации	
З а н я т и е 6. Определение объективных характеристик графических знаков (Ганзен В. А.)	40
З а н я т и е 7. Оценка алфавитов знаков для кодирования визуальной информации (Зинченко Т. П.)	43
З а н я т и е 8. Сравнительная оценка читаемости целых и фрагментарно отображаемых знаков (Симоненко Ю. А.)	48
З а н я т и е 9. Оценка информативности признаков различных знаковых систем (Тутушкина М. К.)	51
Прием и переработка визуальной информации	
З а н я т и е 10. Сравнительная оценка переработки наглядной визуальной информации человеком в зависимости от системы отсчета (Юсупов И. М.)	63
З а н я т и е 11. Сравнительная оценка переработки наглядной визуальной информации человеком в зависимости от числа переменных параметров (Юсупов И. М.)	68
З а н я т и е 12. Изучение процесса обнаружения визуального сигнала на фоне стационарных помех (Соловова Л. М.)	71

З а н я т и е 13.	Исследование влияния количества объектов на эффективность деятельности оператора-диспетчера на этапе принятия решения (Черепов В. А.)	75
З а н я т и е 14.	Исследование зависимости показателей слежения от передаточных функций объектов и способов регулирования (Прокофьев В. А.)	78
З а н я т и е 15.	Изучение процесса формирования стратегии решения задач при наглядно-образной форме представления ситуации (Нафтульев А. И., Лебедева Н. М.)	85
З а н я т и е 16.	Изучение процесса формирования стратегии решения задач при абстрактной форме представления ситуации (Нафтульев А. И., Лебедева Н. М.)	97

Прием речевых и звуковых сигналов

З а н я т и е 17.	Исследование селекции речи в условиях многоканальной речевой коммуникации (Лушхина И. М.)	103
З а н я т и е 18.	Оценка разборчивости речи в условиях шума (Лушхина И. М.)	110
З а н я т и е 19.	Оценка помехоустойчивости оператора при приеме акустической информации на фоне интрамодальной помехи (Огинец Л. В.)	114

Инженерно-психологическая оценка

З а н я т и е 20.	Экспертная инженерно-психологическая оценка индикатора (Суходольский Г. В., Шевякова Л. П.)	121
З а н я т и е 21.	Экспертная инженерно-психологическая оценка группы индикаторов (Суходольский Г. В., Шевякова Л. П.)	148
З а н я т и е 22.	Сравнительная экспертная инженерно-психологическая оценка индикаторов (Суходольский Г. В., Шевякова Л. П.)	153
З а н я т и е 23.	Инженерно-психологическая оценка конструкторских решений проектируемого пульта управления (Введенский И. В.)	158

35 коп.

ИЗДАТЕЛЬСТВО ЛЕНИНГРАДСКОГО УНИВЕРСИТЕТА