

ТРУДЫ
НАМИ

— 1976 —

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ АВТОМОБИЛЬНЫЙ И АВТОМОТОРНЫЙ ИНСТИТУТ

~~НАМИ~~

ТРУДЫ
НАМИ

Выпуск 160

ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО
АНАЛИЗА, ПРИМЕНЕНИЕ ЭВМ ДЛЯ
ИССЛЕДОВАНИЙ И РАСЧЕТОВ АВТОМОБИЛЕЙ
И ДВИГАТЕЛЕЙ

ОТДЕЛ НАУЧНОЙ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Москва

1976

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Хлебников А. М. (председатель), **Лунев И. С.** (зам. председателя),
Петрушов В. А. (зам. председателя), **Григорьева Л. А.** (отв. секретарь).

Секция автомобилей

Андронов М. А., Гапоян Д. Т., Глинер Л. Е., Егоров Л. А., Зайцев Г. В., Кнороз В. И., Крестовников Г. А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОХОДНЫХ БЕСКОНТАКТНЫХ ТОКОСЪЕМНИКОВ ИНДУКТИВНОГО ТИПА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВРАЩАЮЩИХСЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Современное развитие средств измерений для исследования и испытания параметров вращающихся деталей машин определяется задачами, связанными с их надежностью. Дальнейшее совершенствование измерений параметров вращающихся деталей машин требует освоения измерений с высокой точностью. Это вызвало необходимость исследований способов передачи сигналов с помощью бесконтактной связи. Наиболее эффективно [4; 5] бесконтактная передача информации осуществляется посредством индуктивной связи. На этом принципе созданы и работают конструкции торцевых бесконтактных токосъемников. В настоящее время определена необходимость в проходных токосъемниках, которые надежно работали бы в различных условиях эксплуатации. В этом случае конструкция токосъемника должна отвечать следующим требованиям:

- минимальные габариты и вес;
- измерение в любых сечениях вращающихся деталей, имеющих цилиндрическую форму;
- возможность использования токосъемника со стандартной тензоаппаратурой при изменении температуры окружающей среды в пределах от -10 до $+80^{\circ}\text{C}$;
- независимость результатов измерения от скорости вращения и нечувствительность к внешним электрическим и магнитным полям;
- обеспечение точности измерения $1-2\%$;
- простота коммутационных устройств и возможность выполнения их из недефицитных материалов;
- возможность установки как по торцам валов, так и непосредственно на валу испытуемого объекта;

— колебание напряжения питания аппаратуры не должно превышать 10% от номинального значения.

При изготовлении бесконтактных токосъемников возникает ряд трудностей, связанных с конструктивными и технологическими

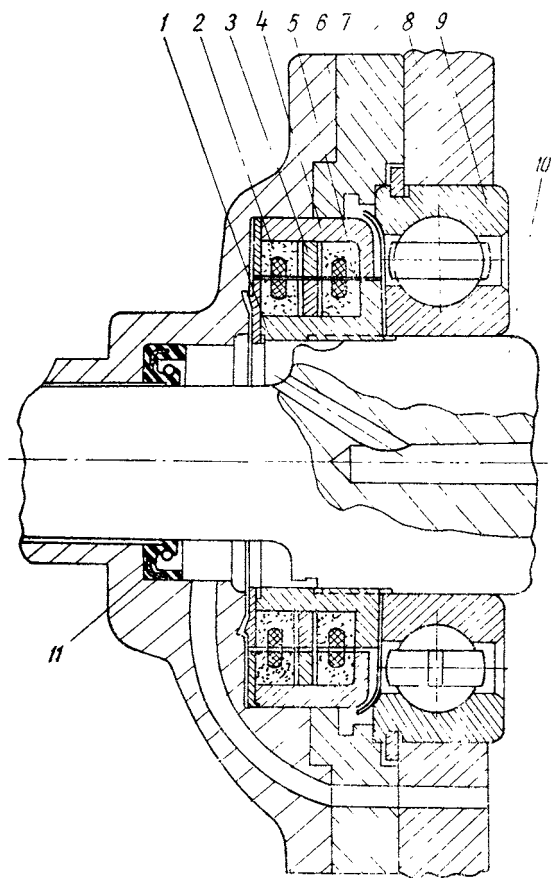


Рис. 1. Проходное бесконтактное токосъемное устройство для первичного вала коробки передач: 1 — обойма внутренних колец; 2 — питающий трансформатор; 3 — экран; 4 — обойма наружных колец; 5 — измерительный трансформатор; 6 — фланец; 7 — проставка; 8 — картер коробки передач; 9 — подшипник первичного вала; 10 — первичный вал; 11 — сальник

особенностями. В НАМИ накоплен опыт по созданию надежных бесконтактных проходных токосъемников.

Рассмотрим конструкции этих токосъемников, методику расчета и особенности их работы.

Первая конструкция представляет собой одноточечный вариант, предназначенный для исследования момента первичного вала

коробки передач грузового автомобиля с дизельным двигателем*.

Принципиально работа проходного токосъемника ничем не отличается от торцевого бесконтактного токосъемника ТБ-2М. Он состоит из питающего и измерительного трансформаторов и работает с тензоусилителем на несущей частоте с трансформаторным входом.

Конструктивно проходной бесконтактный токосъемник изображен на рис. 1. Он представляет собой обоймы 1 и 4, на которых расположены два кольцевых трансформатора 2 и 5 с экраном из стали 3 между ними. Внутри обоймы находятся кольца из феррита НМЦ-600. Вставка 7 компенсирует размер двух трансформаторов, а крышка картера коробки передач 8 соединяет конструкцию токосъемника в единую систему.

Для упрощения технологии изготовления токосъемника был разработан его вариант с порошковым магнитопроводом, предназначенный для измерения крутящего момента и крутильных колебаний карданного вала автобуса и грузового автомобиля**.

Основными узлами токосъемника являются два кольцевых трансформатора, обмотки которых размещены в канавках concentрических колец из оргстекла (рис. 2).

Наружные кольца 6 и 8 с обмотками располагаются в неподвижном корпусе 9, а внутренние 14 и 17 на установочной втулке 1, которая приваривается к трубе карданного вала 2 в зависимости от места измерения, в данном случае ближе к крестовине. Корпус 9 центрируется на установочной втулке с помощью двух шарикоподшипников 5 и 13. Кольца изготовлены из диэлектрика и размещаются в металлических обоймах 15 и 16. Между кольцами установлен медный экран 7. Радиальный зазор между кольцами составляет 0,25 мм. Для крепления трансформаторов и шарикоподшипников и для предохранения всего устройства от пыли и влаги служат лабиринтные крышки 4 и 12 с огражателями 3 и 11. 10 — тензодатчики.

Остановимся на особенностях конструкции магнитопровода трансформаторов. Благодаря хорошим магнитным свойствам феррита НМЦ-600 получаются трансформаторы с большим коэффициентом передачи и сравнительно малыми величинами потерь. Однако феррит — механически трудно обрабатываемый материал, поэтому для получения необходимой формы паза необходимо применение специальных средств обработки (алмазные диски, притиры). В связи с этим была решена задача создания трансформатора с менее трудоемким процессом обработки магнитопровода, с параметрами, соответствующими параметрам на сплошном феррите.

* В разработке участвовали инж. А. Н. Рунов и радиомонтажник Б. В. Шереметьев.

** В разработке участвовали конструктор А. И. Жданова и радиомонтажник Б. В. Шереметьев.

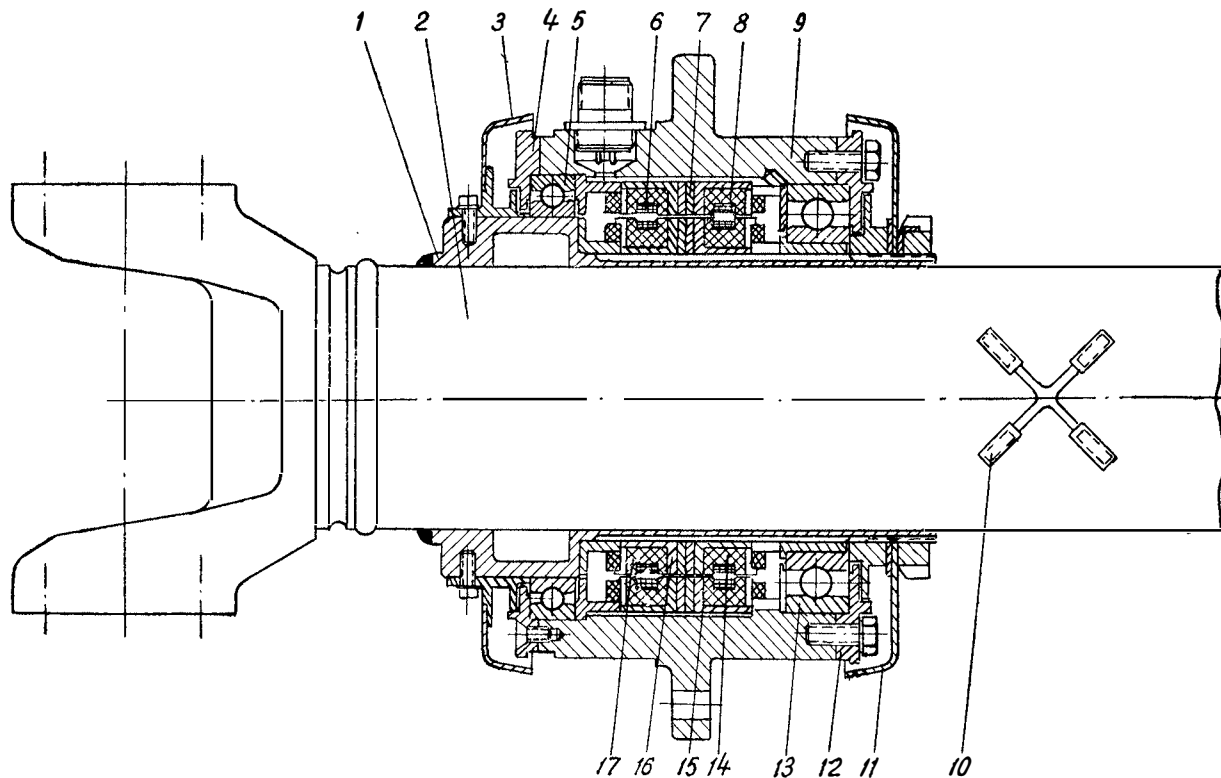


Рис. 2. Проходной бесконтактный токосъемник для измерения крутильных колебаний и крутящего момента карданного вала

Практическое исследование кольцевого воздушного трансформатора при размещении его на стальном валу показало, что он имеет значительные потери, в результате чего коэффициент передачи $K_n = \frac{U_2}{U_1}$ падает с 0,7 до 0,1. Эта проблема потребовала проработки ряда схем и была решена путем изменения конфигурации наружного и внутреннего колец — внутри каждого кольца вписался дополнительный магнитопровод, представляющий собой пояс ферритового порошка. Такое решение позволило резко уменьшить потери трансформатора и довести его параметры до параметров трансформатора на сплошном феррите.

Конструкция трансформатора с порошкообразным магнитопроводом изображена на рис. 3.

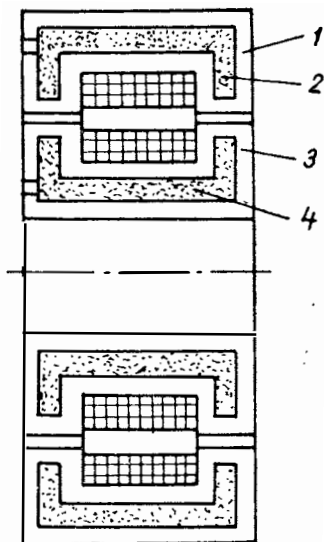


Рис. 3. Трансформатор с порошкообразным магнитопроводом:

1 — обойма наружного кольца из оргстекла; 2 — ферритовый пояс наружного кольца; 3 — обойма внутреннего кольца из оргстекла; 4 — ферритовый пояс внутреннего кольца

Технологичность упомянутой конструкции значительно проще по сравнению с конструкцией магнитопровода из феррита.

В рассматриваемой конструкции достаточно внутреннюю часть каркаса из оргстекла через отверстия, показанные на рис. 3, заполнить ферритовым порошком, чтобы получить дополнительный магнитопровод.

Одним из основных параметров кольцевого трансформатора, входящего в токосъемник, является коэффициент передачи, который во многом определяет качественные показатели характеристик кольцевого трансформатора и, следовательно, правильность выбора его магнитных и электрических параметров.

Рассмотрим методику расчета трансформатора.

С точки зрения эффективности передачи сигналов представляется целесообразным определить постоянную A , характеризующую конструктивные и электрические параметры. С этой целью проведем расчет A как для трансформаторов на феррите, так и из ферритового порошка.

Конструктивную постоянную A определим [5]:

$$A = \frac{S_0 S_{\Phi} f_n}{P},$$

где S_0 — площадь паза, мм²;
 $S_{\text{ф}}$ — площадь феррита, мм²;
 $f_{\text{н}}$ — несущая частота, кГц;
 P — мощность, Вт.

Коэффициент полного тока

$$K_t = \frac{I_{\text{п}}}{I_{\text{н}}},$$

где $I_{\text{п}}$ — полный ток;
 $I_{\text{н}}$ — ток нагрузки.

Остановимся на выборе полосы пропускания трансформатора, которую определим по частотной характеристике на уровне 0,9 от максимального значения $K_{\text{п}}$.

Относительную полосу пропускания определим как [2]:

$$m = \frac{\Delta f_{0,9}}{f_{\text{н}}},$$

где $\Delta f_{0,9}$ — полоса пропускания, кГц;
 $f_{\text{н}}$ — несущая частота, кГц.

Несущая частота $f_{\text{н}}$ является среднегеометрической между граничными частотами [2]:

$$f_{\text{н}}^2 = f_1 f_2 \text{ кГц.}$$

Отсюда определим нижнюю и верхнюю граничные частоты [2]:

$$f_1 = \sqrt{f_{\text{н}}^2 + \left(\frac{\Delta f_{0,9}}{2}\right)^2} - \frac{\Delta f_{0,9}}{2} \text{ кГц;}$$

$$f_2 = f_1 + \Delta f_{0,9} \text{ кГц.}$$

Обычно величина m находится в пределах 2—4.

Расчет индукции B в магнитопроводе носит оценочный характер, так как в первом приближении рассеяние не учитывается.

Расчет проводим по закону полного тока [1]:

$$\oint H dl = I_{\text{х/х}} W.$$

Составим уравнение для всей цепи магнитопровода

$$H_1 l_1 + 2H_2 l_2 + 2H_3 l_3 + 2H_4 l_4 + H_5 l_5 = I_{\text{х/х}} W. \quad (1)$$

Индукцию определим на участке l_1 (рис. 4).

Напряженность поля на участке будет:

$$H_1 = \frac{B}{\mu\mu_0}; \quad H_2 = \frac{Bb}{a\mu\mu_0}; \quad H_3 = \frac{Bl_{\text{зав}}}{a\mu_0}; \quad H_4 = \frac{Bd}{c\mu\mu_0}; \quad H_5 = \frac{Bc}{d\mu\mu_0}.$$

Подставляя значения H в уравнение (1), получим значение

$$B = \frac{I_{x/x} W_{\mu\mu_0}}{l_1 + \frac{2bl_2}{a} + \frac{2\mu l_{\text{ззз}} l_3}{a} + \frac{2dl_4}{c} + \frac{cl_5}{d}}.$$

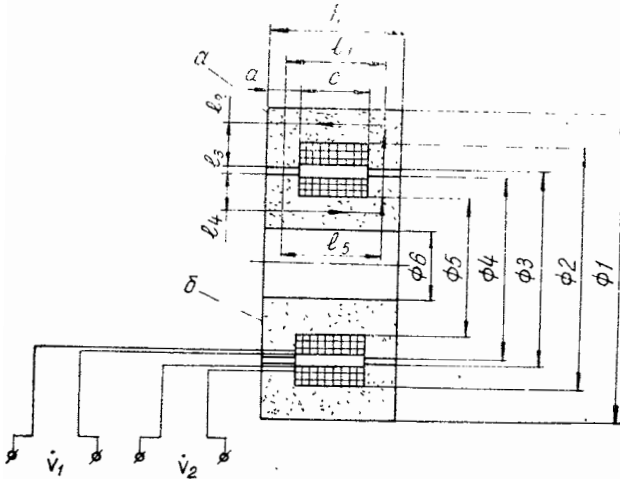


Рис. 4 Конструктивная схема:
 a -- наружное кольцо; b -- внутреннее кольцо

Для расчета трансформатора предлагается следующая методика:

1. Исходные данные:
 напряжение источника питания u_1 , в;
 несущая частота f_n , кГц;
 сопротивление нагрузки R_n , ом;
 ток нагрузки I_n , ма;
 зазор между кольцами $l_{\text{ззз}}$, мм;
 материал магнитопровода — феррит.

2. Определяем полосу пропускания трансформатора [2]:

$$\Delta f_{0,9} = m f_n.$$

3. Определяем нижнюю и верхнюю граничную частоту:

$$f_1 = \sqrt{f_n^2 + \left(\frac{\Delta f_{0,9}}{2}\right)^2} - \frac{\Delta f_{0,9}}{2} \text{ кГц};$$

$$f_2 = f_1 + \Delta f_{0,9} \text{ кГц}.$$

4. Определяем индуктивность первичной обмотки L_1 по эквивалентной нагрузке $R_{э.н}$ [5]:

$$L_1 = \frac{R_{э.н}}{\omega \sqrt{M_H - 1}},$$

где M_H — коэффициент частотных искажений на уровне 0,9
 $\left(M_H = \frac{1}{0,9} = 1,1\right)$;
 ω — угловая частота 1/сек.

5. Определяем параметры магнитопровода трансформатора:

$$S_0 S_\phi = A \frac{P}{f_H};$$

по произведению $S_0 S_\phi$ выбираем магнитопровод.

6. Определяем число витков первичной обмотки [5]:

$$W_1 = \sqrt{\frac{L_1}{\mu_{зав} \frac{S_{зав}}{l_{зав}}}}.$$

7. Определяем коэффициент трансформации:

$$n = \frac{U_1}{U_H} K_n; \quad K_n = 0,7 \div 0,8,$$

где K_n — коэффициент передачи.

8. Определяем число витков вторичной обмотки:

$$W_2 = W_1 n.$$

9. Определяем полный ток первичной обмотки:

$$I_{H1} = K_i I_H; \quad K_i = (1,4 \div 3).$$

10. Определяем сечение меди первичной и вторичной обмоток:

$$S_{M1} = \frac{I_{H1}}{j_1} \text{ мм}^2; \quad S_{M2} = \frac{I_H}{j_2} \text{ мм}^2,$$

где j_1, j_2 — плотность тока первичной и вторичной обмоток, равная 2 а/мм².

11. Проверяем заполнение паза обмоткой с учетом изоляции провода и прокладок.

12. Определяем индукцию B в магнитопроводе:

$$B = \frac{I_{x/x} W \mu \mu_0}{l_1 + \frac{2bl_2}{a} + \frac{2\mu l_{зав} l_3}{a} + \frac{2dl_4}{c} + \frac{cl_5}{d}}.$$

13. Рассчитываем частотную характеристику [3]:

$$|K_{\Pi}(\omega)| = \frac{n}{\frac{n^2 r_1 + r_2 + R_{\Pi}}{R_{\Pi}}} \sqrt{\left(1 + \frac{r_1}{n^2 r_1 + r_2 + R_{\Pi}} \cdot \frac{L_{S2}}{L_m} + \frac{R_{\Pi}}{n^2 r_1 + r_2 + R_{\Pi}} \cdot \frac{L_{S1}}{L_m}\right)^2 + \left[\frac{r_1}{\omega L_m} \cdot \frac{r_2 + R_{\Pi}}{r_2 + R_{\Pi} + n^2 r_1} - \frac{\omega L_{S1}}{n^2 r_1 + r_2 + R_{\Pi}} \left(\frac{L_{S2}}{L_m} + \frac{n^2 L_{S1} + L_{S2}}{L_{S1}}\right)\right]^2}$$

$$\varphi(\omega) = \arctg \frac{\frac{r_1 (r_2 + R_{\Pi})}{\omega L_m} - \omega L_{S1} \left(\frac{L_{S2}}{L_m} + \frac{n^2 L_{S1} + L_{S2}}{L_{S1}}\right)}{n^2 r_1 + r_2 + R_{\Pi} + \frac{r_1 L_{S2} + (r_2 + R_{\Pi}) L_{S1}}{L_m}}$$

С целью оценки совершенства проходного бесконтактного токосъемника была применена система, позволившая проводить одновременную запись крутящего момента на первичном валу КПП, передаваемого как бесконтактным токосъемником, так и контактными ртутными токосъемниками. Результаты одновременной регистрации представлены на рис. 5 и 6. Они позволяют установить, что величины амплитудных значений крутящего момента отличаются на 3%, что находится в пределах точности измерения.

Отметим, что на диаграмме крутящего момента наблюдаются гармоники на высоких частотах. Природа гармоник не была установлена и подлежит исследованию в дальнейшем. Осредненные значения кривых крутящего момента для двух типов токосъемников совпадают достаточно точно. Это позволяет заключить, что проходной бесконтактный токосъемник пригоден для исследования нагрузочных режимов двигателя и коробки перемены передач.

Рассмотренная в начале статьи конструкция бесконтактного токосъемника, предназначенного для испытания карданного вала автобуса и грузового автомобиля, нашла практическое применение при предварительном испытании трансмиссии автомобиля, где с помощью его была произведена запись крутящего момента на карданном валу. Результаты испытаний показывают надежную работу токосъемника, а допустимая точность измерения подтверждается осциллографированием нулевых линий, которые совпадают. Результаты дают основание считать, что конструкция проходного бесконтактного токосъемника может использоваться при исследованиях нагрузочных режимов трансмиссий автомобилей и автобусов.

В заключение можно отметить, что практические и теоретические исследования конструкции проходного токосъемника свидетельствуют, что он отвечает заданным требованиям, надежен в эксплуатации, а изложенная методика может быть использована

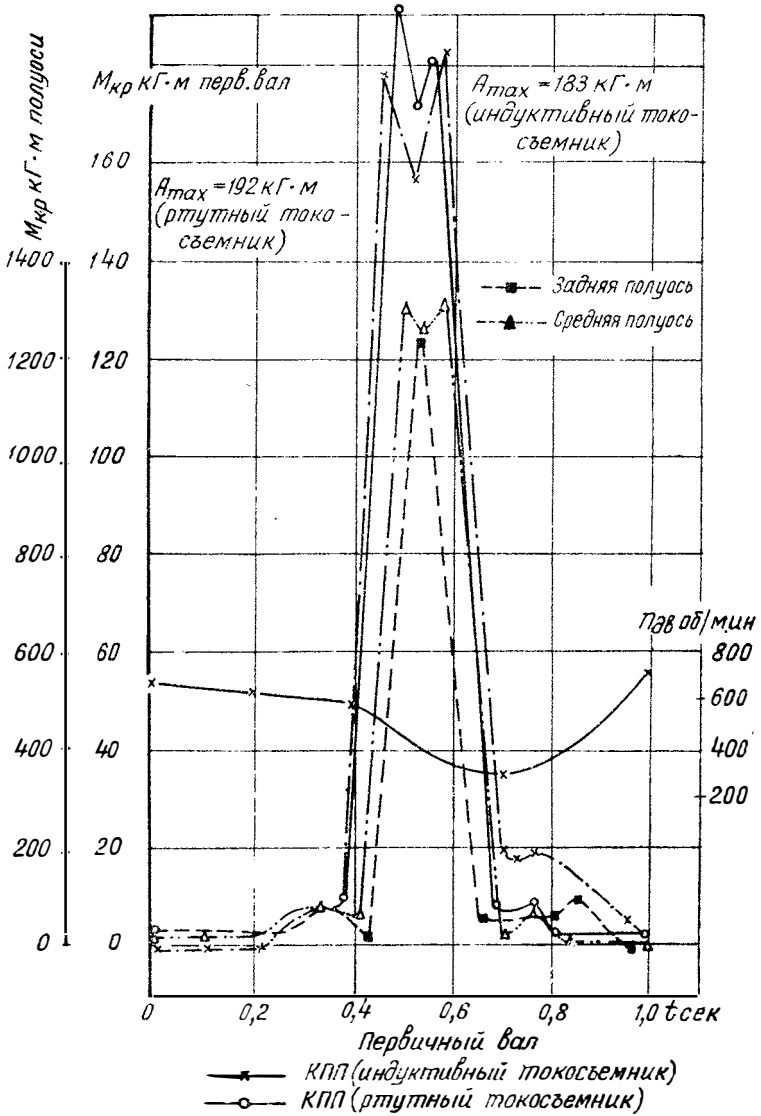


Рис. 5. Изменение крутящего момента автомобиля с дизельным двигателем и турбонаддувом. Весовое состояние 23,5 т. Трогание с места на второй передаче КПП (резкий «бросок» педали сцеплений)

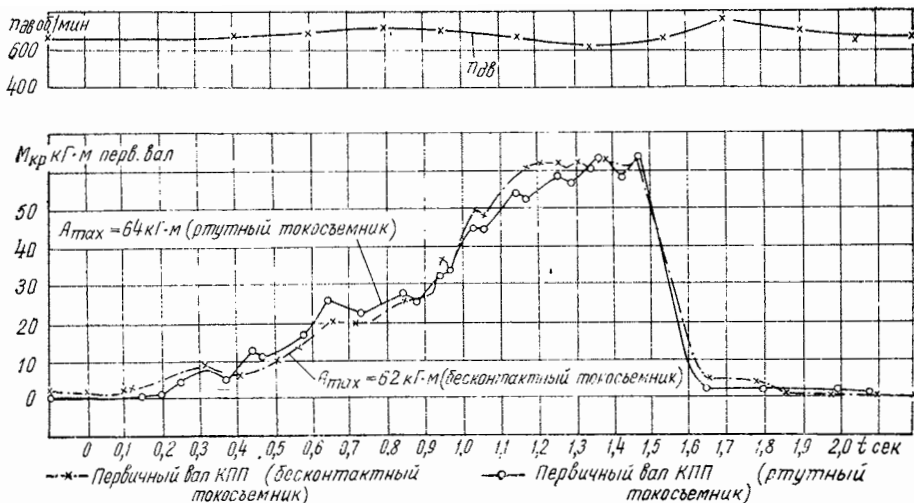


Рис. 6. Изменение крутящего момента автомобиля с дизельным двигателем и турбонаддувом. Весовое состояние 23,5 т. Трогание с места на второй передаче КПП (плавное включение сцепления)

для инженерных расчетов электрических и конструктивных параметров кольцевого трансформатора проходного бесконтактного токосъемника.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. М. «Высшая школа», 1962.
2. Босый Г. Д. Электрические фильтры. Киев, Гостехиздат, 1965.
3. Егорычев Л. П., Херсонский М. С. Расчет частотной характеристики индуктивного токосъемника. «Измерительная техника», 1969, № 3.
4. Пульер Ю. М. Индукционные электромеханические элементы вычислительных и дистанционных следящих систем. М., Машгиз, 1964.
5. Цыкин Г. С. Трансформаторы низкой частоты. М., Связьиздат, 1955.

МАЛОГАБАРИТНЫЕ МЕДНЫЕ ДАТЧИКИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР ПРИ ИСПЫТАНИИ АВТОМОБИЛЕЙ

Исследование тепловых процессов двигателей, а также разработка жидкостного и воздушного охлаждения двигателей, механических и электрических трансмиссий, механических и гидравлических коробок передач, тормозов, шин, систем отопления и вентиляции связаны с измерением температурных режимов этих агрегатов. В ГОСТах 6875—54 и 6905—54 на методы контрольных испытаний грузовых и легковых автомобилей предусмотрено измерение температуры в указанных узлах. Для этого в НАМИ разработана серия приборов для измерения температур в дорожных условиях. Однако ряд тепловых параметров не может быть измерен из-за отсутствия дистанционных измерителей температуры с малогабаритными датчиками, например температура воды на входе в отопитель салона автомобиля, температура масла в картере двигателя.

Целью работы было создание малогабаритных датчиков медных терморезисторов, предназначенных для измерения температуры в узлах и агрегатах автомобиля при дорожных испытаниях. Датчики работают в комплекте с температурными мостами ТМ-2, ТМ-3, ТМ-6, ТМ-7, а также с другими приборами при токе не более 2—5 ма и имеют стандартную градуировку 24.

На рис. 1 представлены внешний вид и основные размеры датчиков.

Разработаны датчики двух типов — воздушные и жидкостные. В их разработке принимали участие инженеры В. И. Шахрай, Д. И. Колесников, техник Л. С. Малыхина, Э. Т. Танкова.

Жидкостные датчики состоят из кожуха, штуцера с резьбой для ввертывания в деталь, уплотнительной гайки с отверстиями для выводов.




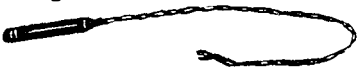
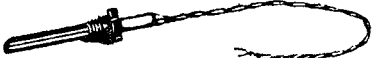

\varnothing мм	d мм	Терморезисторы медные 100 ом
7	1,35	Воздушный 
10	4,2	Воздушный 
20	2,5	Воздушный 
25	3,5	Воздушный 
30	4,0	Жидкостной 
50	6,0	Жидкостной 

Рис. 1. Датчики температуры

Воздушные датчики состоят из керамической трубки, на которую наматывается медный провод. Для изготовления датчиков используется керамическая трубка диаметром 1, 2 и 3 мм. Для больших датчиков берется провод диаметром 0,05 мм, а для самых малых — 0,02 мм. Датчики изготавливаются путем намотки провода на специальном станке, который представляет собой устройство, позволяющее получать различный шаг намотки в зависимости от диаметра провода.

Процесс намотки и подгонки сопротивления датчиков осуществляется следующим образом: датчики наматываются с небольшим запасом по числу витков, далее несколько датчиков (до 10 шт.) размещаются на воздухе у ртутного термометра с ценой деления 0,1°C и выдерживаются в течение 30 мин., после чего измеряют их сопротивление. Если сопротивление не соответствует номиналу

при данной температуре, то уменьшают длину провода. Затем осуществляют пайку концов к выводным проводам, а поверхность датчика покрывают несколькими слоями изоляционного лака типа К-300, далее датчик сушится в течение суток и снова проверяется значение сопротивления.

Погрешность подгонки датчиков

Для оценки погрешности подгонки сопротивления датчиков была сделана выборка в 140 датчиков. Поскольку подгонка и контроль датчиков по сопротивлению ведется при разных температурах, расчет параметров эмпирической кривой распределения сделан при нуле.

Сопротивление датчика [1]:

$$R_t = R_0(1 + \alpha_0 t).$$

Отклонение сопротивления датчика при нуле:

$$\Delta R_0 = \frac{\Delta R_t + R_{00}}{1 + \alpha_0 t} - R_{00}, \quad \Delta R_t = R_t - R_{00},$$

где R_0 — сопротивление датчика при нуле;

R_t — сопротивление датчика при $t^\circ\text{C}$;

$R_{00} = 100$ ом — сопротивление датчика (теоретическое);

$\alpha_0 = 0,00425$ 1/град — температурный коэффициент сопротивления.

Диапазон отклонений сопротивления датчика при нуле разбит на 11 интервалов с шагом $h=28$. Выбирая начало отсчета в точке $x_0 = -42$, получили новое значение переменной

$$x'_i = \frac{x_i + 42}{28}.$$

Интервалы	m_i	x_i	x'_i	$(x'_i)^2$
-196 ÷ -168	1	-182	-5	25
-168 ÷ -140	4	-154	-4	16
-140 ÷ -112	11	-126	-3	9
-112 ÷ -84	17	-98	-2	4
-84 ÷ -56	17	-70	-1	1
-56 ÷ -28	15	-42	0	0
-28 ÷ 0	18	-14	+1	1
0 ÷ +28	22	+14	+2	4
+28 ÷ +56	17	+42	+3	9
+56 ÷ +84	14	+70	+4	16
+84 ÷ +112	4	+98	+5	25
	140			

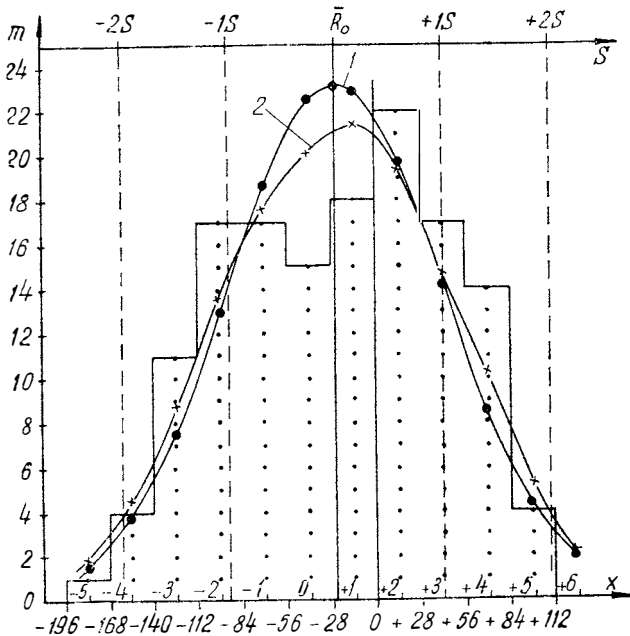


Рис. 2. Распределение сопротивления 140 датчиков при $t=0$

На рис. 2 приведена гистограмма распределения плотности вероятности. Разбивка интервалов, значения переменных и частот даны в таблице.

По полученным значениям частот подсчитаны основные параметры эмпирической кривой распределения.

Таблица

$(x_i')^3$	$(x_i')^4$	$m_i x_i'$	$m_i (x_i')^2$	$m_i (x_i')^3$	$m_i (x_i')^4$
-125	625	-5	25	-125	625
-64	256	-16	64	-256	1024
-27	81	-33	99	-297	891
-8	16	-34	68	-136	272
-1	1	-17	17	-17	17
0	0	0	0	0	0
+1	1	+18	18	+18	18
+8	16	+44	88	+178	352
+27	81	+51	153	+459	1377
+64	256	+56	224	+896	3584
+125	625	+20	100	+500	2500
		+84	856	+1220	+10660

Начальные моменты:

$$a_1 = \bar{x}_1 = \frac{\sum m_i x'_i}{\sum m_i} = +0,60; \quad a_2 = \frac{\sum m_i (x'_i)^2}{\sum m_i} = +6,12;$$
$$a_3 = \frac{\sum m_i (x'_i)^3}{\sum m_i} = +8,72; \quad a_4 = \frac{\sum m_i (x'_i)^4}{\sum m_i} = +76,15.$$

Центральные моменты:

$$m_1 = a_1 - \bar{x}' = +0,6; \quad m_2 = a_2 - a_1^2 = 5,76;$$
$$m_3 = a_3 - 3a_1 a_2 + 2a_1^3 = -1,85;$$
$$m_4 = a_4 - 4a_1 a_3 + 6a_1^2 a_2 - 3a_1^4 = +68,06.$$

Среднее значение

$$\bar{x} = x_0 + x'_0 h = -25,2.$$

Отклонение среднего от заданного сопротивления $R_{00} = 100$ ом

$$\Delta \bar{R}_0 = \frac{\bar{x}}{1000} = -0,0252 \text{ ом или } |\Delta R| = 0,0252\%.$$

Среднее значение сопротивления

$$\bar{R}_0 = R_{00} + \Delta \bar{R}_0 = 99,9748 \text{ ом.}$$

Среднее квадратическое отклонение

$$S = \sqrt{m_2} = 2,4.$$

Показатель асимметрии

$$A = \frac{m_3}{\sqrt{m_2^3}} = -0,134.$$

Показатель эксцесса

$$E = \frac{m_4}{m_2^2} = -0,85.$$

Выравнивание полученной эмпирической кривой распределения произведено по нормальному закону Гаусса и по обобщенному закону распределения Лапласа-Шарлье.

Значения выравненных частот для кривой Гаусса найдены по функции плотности вероятности [2]:

$$\varphi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}}, \quad \text{где } t = \frac{x'_i - \bar{x}'}{s}.$$

Для обобщенной кривой Лапласа-Шарлье значения выравненных частот найдены по формуле (2):

$$m_{л-ш} = \frac{N}{s} \left[\varphi(t) + \frac{A}{6} \varphi^{III}(t) + \frac{E}{24} \varphi^{IV}(t) \right].$$

На рис. 2 нанесены кривая 1 нормального распределения Гаусса и кривая 2 распределения Лапласа-Шарлье.

Произведем оценку соответствия выбранных теоретических кривых данному эмпирическому распределению и критерию согласия Пирсона

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(m_i - m_i^T)^2}{m_i^T},$$

где m_i — эмпирические частоты;
 m_i^T — теоретические частоты;
 n — число сравниваемых частот.

Число степеней свободы

$$k = (n - 1) - r,$$

где r — число параметров теоретической функции распределения.

Для нормального распределения Гаусса $r=2$ и число степеней свободы $k=8$ ($n=11$), вероятность согласия $P(\chi^2)=0,202$.

Для распределения Лапласа-Шарлье $r=4$ и число степеней свободы $k=6$. Вероятность согласия $P(\chi^2)=0,737$.

Примем за уровень значимости величину 0,05. Поскольку $P(\chi^2)$ для распределения Гаусса и Лапласа-Шарлье больше уровня значимости 0,05, то можно считать, что эмпирическое распределение согласуется с теоретическим. По $P(\chi^2)$ видно, что распределение Лапласа-Шарлье лучше приближает эмпирическое распределение.

Проведенный анализ подгонки датчиков дает возможность оценить погрешности датчиков по температуре.

Отклонение среднего от нуля

$$\bar{\Delta t}_0 = \frac{\Delta \bar{R}_0}{\alpha_0 R_{00}} = -0,0593 \text{ град.}$$

Погрешность подгонки датчиков в интервале удвоенного среднеквадратического отклонения с вероятностью 95,4% будет

$$\Delta t_{2s} = \frac{2sh}{\alpha_0 R_{00}} = 0,316 \text{ град.}$$

Как видно из приведенного, подгонку датчиков по сопротивлению можно считать хорошей, так как смещение среднего составляет всего — 0,0593 град., а с вероятностью 95,4% отклонение лежит в пределах 0,316°C.

Постоянная времени датчика

Постоянная времени датчиков различных типов снималась при охлаждении. Датчики включались в мост с напряжением питания 250 в и с сопротивлениями 100 ком в питающих плечах. Таким образом, датчики питались практически от генератора тока 2,5 ма. В диагональ моста включался автоматический потенциометр типа ЭПП-09. Перед нагревом датчика мост балансировался магазином сопротивлений. Затем датчик помещался в печь и выдерживался до заданной температуры. Далее включался потенциометр, датчик

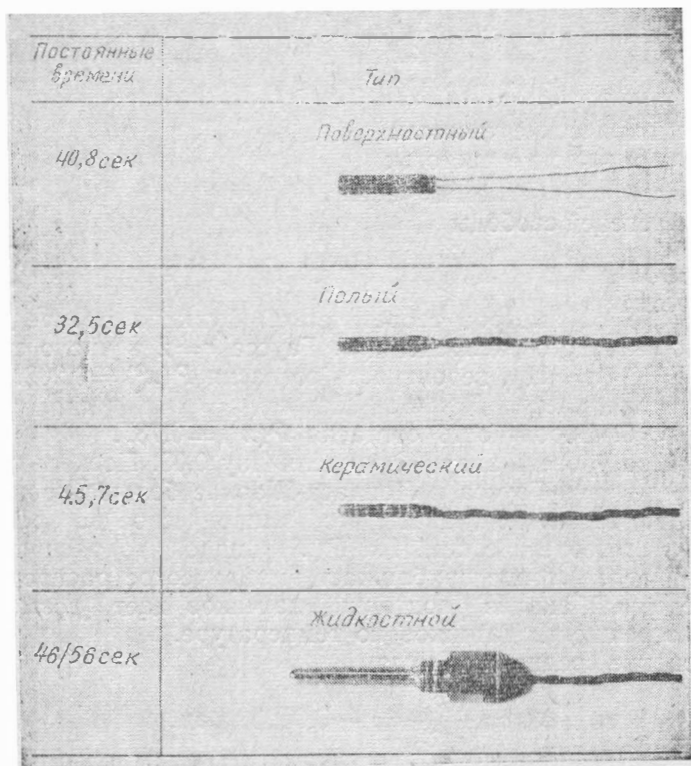


Рис. 3. Постоянные времени датчиков

вынимался из печи и записывались кривые охлаждения. Построение кривых охлаждения велось в полулогарифмических координатах. Поскольку установившееся значение температуры датчика равно температуре среды, то кривая охлаждения может быть аппроксимирована экспонентой

$$t_d = t_n e^{-\frac{\tau}{\tau_d}},$$

где t_n — температура нагретого датчика;

τ_d — постоянная времени датчика.

Отсюда по двум точкам получили постоянную времени датчика

$$\tau_d = \frac{\tau_2 - \tau_1}{2,303 \lg \frac{t_{d1}}{t_{d2}}} \text{ сек.}$$

Результаты измерений постоянной времени различных типов датчиков приведены на рис. 3. Как видно из рисунка, постоянные времени датчиков лежат в интервале 30—60 сек, т. е. различаются в два раза. Кривая охлаждения жидкостного датчика имеет излом и состоит из двух участков. Первый участок имеет постоянную времени 46 сек., а второй — 56 сек. Это объясняется тем, что датчик состоит из двух масс — датчика и кожуха.

Опыт длительной работы с разработанными датчиками показал достаточную надежность датчиков, хорошую их подгонку по сопротивлению и пригодность к измерению переходных режимов в системах охлаждения и отопления автомобиля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Преображенский В. П. Теплотехнические измерения и приборы. М., Госэнергоиздат, 1947.

2. РТМ 44—62. Методика статистической обработки эмпирических данных. М., Стандартгиз, 1963.

МНОГОТОЧЕЧНЫЙ ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР ПРИ ИСПЫТАНИИ АВТОМОБИЛЕЙ

Измерения температур при испытании автомобильной техники согласно ГОСТу 6875—54 и 6905—54 связаны в основном с охлаждением агрегатов автомобиля и салона. Температуры измеряются при исследовании системы охлаждения двигателя на входе и выходе радиатора, в поддоне картера, в коробке передач, в системе тормозов и т. п. Значительный объем составляют измерения температуры в салоне легковых автомобилей и автобусов при охлаждении салона для районов Средней Азии и отоплении для районов Севера.

Для измерения температур при испытании автомобиля в дорожных условиях разработаны приборы типа ТМ-М-2 и ТМ-М-3, различающиеся конструктивным исполнением. В работе по испытанию и изготовлению приборов участвовали З. Т. Танкова, Л. С. Малыгина и Д. И. Колесников.

Датчик и измерительная схема

Для измерения температур в диапазоне $-80 \div +160^{\circ}\text{C}$ обычно применяются термпары и терморезисторы (металлические и полупроводниковые). Термпары по сравнению с металлическими терморезисторами имеют конструктивные преимущества — малые размеры. Полупроводниковые терморезисторы имеют небольшие габариты и в этом отношении вполне конкурируют с термпарами, но обладают большим разбросом сопротивления и температурного коэффициента сопротивления, достигающим до 20%, поэтому были выбраны металлические терморезисторы.

Схема прибора спроектирована без усилительных элементов с выходными микроамперметрами типа М24, М93 и т. п.

Чувствительность терморезисторов определяется температурным коэффициентом и для чистых металлов составляет 0,3—0,6%/град [3]. С точки зрения чувствительности выбор материала не играет существенной роли. Наиболее доступным материалом по стоимости и номенклатуре диаметров является медь.

Схемы с терморезисторами могут быть выполнены в различных вариантах. Рассмотрим кратко возможные схемы. На рис. 1 приведены схемы эквивалентного генератора с питанием от двух и одного источника. Определим чувствительность схемы и выходное сопротивление.

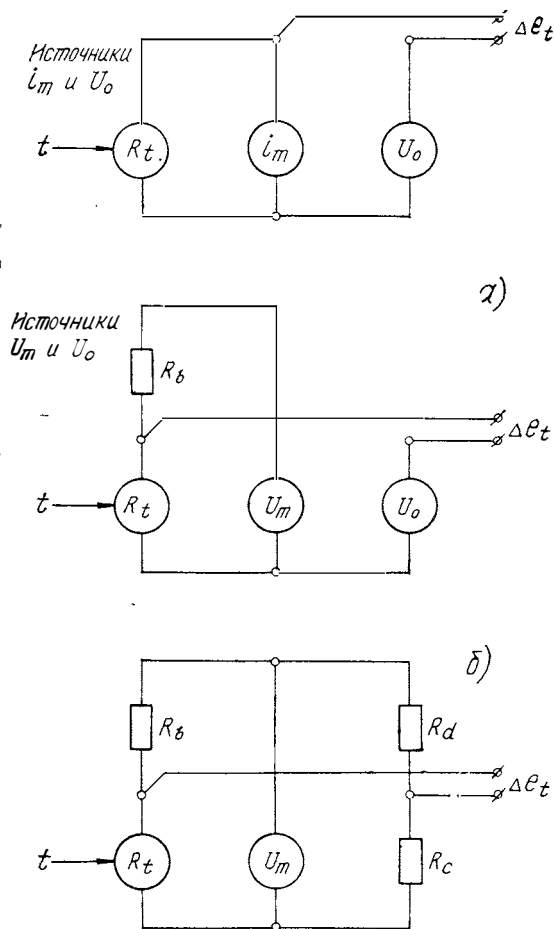


Рис. 1. Схемы эквивалентного генератора с терморезисторами:

а — питание от двух источников; б — питание от одного источника U_m

Источник тока i_m и напряжения U_0 :

$$q_{K1}^e = \frac{\Delta R_t i_m}{\Delta t}; \quad R_e = R_t.$$

Источник напряжения U_m и напряжения U_0 :

$$q_{K2}^e = \frac{\lambda}{(1+\lambda)^2} \cdot \frac{\delta_0}{\left[1 + \frac{\delta_0}{(1+\lambda)}\right]} \cdot \frac{U_m}{\Delta t}; \quad R_e = \frac{R_t R_b}{R_t + R_b}.$$

Источник напряжения U_m (мост):

$$q_{K3}^e = q_{K2}^e, \quad R_e = \frac{(R_t + R_c)(R_b + R_d)}{(R_t + R_c)(R_b + R_d)},$$

где $\lambda = \frac{R_b}{R_0}, \quad \delta_0 = \frac{\Delta R_t}{R_0}, \quad \Delta R_t = R_0 \alpha_0 \Delta t;$

R_0 — начальное сопротивление терморезистора;

R_t — текущее сопротивление терморезистора.

Для сравнения чувствительности схем выберем основные параметры:

$$\Delta t = 80 \text{ град}, \quad R_0 = 100 \text{ ом}, \quad \lambda = 2, \quad \alpha_0 = 0,00425 \frac{1}{\text{град}}, \quad i_m = 3 \text{ ма},$$

$$U_m = 900 \text{ мВ}, \quad U_0 = 300 \text{ мВ}.$$

Тогда получим:

$$\Delta R_t = 34 \text{ ом}, \quad \delta_0 = 0,34.$$

В табл. 1 приведены данные расчета чувствительности для трех схем (см. рис. 1), при этом $q_R^P = q_R^e i_R \Delta t$.

Таблица 1

Схема	R_e ом	q_R^e мкВ/град	q_R^i мкА/град	q_R^P нВТ/град
i_m, U_0	134	1275	9,52	972
U_m, U_0	80,2	763	9,52	581
U_m (мост)	104	763	5,87	358

Отсюда следует, что наибольшей чувствительностью обладает схема с генератором тока. Однако применение этой схемы затруд-

М24	Датчик	q^e мкВ/град	R_e ом	R_r ом	K_p
100 мкА	Хромель-копель	70	13,3	680	0,981
	Терморезистор	763	104	680	0,654
200 мкА	Хромель-копель	70	13,3	80	0,857
	Терморезистор	763	104	80	0,921

нено из-за сложности реализации генератора тока. Наиболее простой является схема моста.

К выходным приборам, работающим на испытаниях автомобиля в дорожных условиях, предъявляются высокие требования — виброустойчивость, влаго- и пыленепроницаемость, хорошая балансировка и т. п. Прибор, кроме того, должен иметь чувствительность по мощности 10—50 нвт/дел. Наиболее подходящими приборами, частично удовлетворяющими предъявляемым требованиям, являются микроамперметры типа М24 и М93. Для сравнения приборов между собой по чувствительности примем диапазон температур на шкалу, равным 80 град. В табл. 2 приведены параметры ряда приборов и их чувствительности по напряжению, по току и по мощности.

Таблица 2

Тип прибора	K_n	R_r ом	U_r мв	i_r мка	P_r мквт	q_r^U мкв/град	q_r^i мка/град	q_r^P нвт/град
М24	1	75	15	200	3,0	187	2,5	37,5
М24	1,5	80	16	200	3,2	200	2,5	37,5
М93	1	80	16	200	3,2	200	2,5	37,5
М24	1	680	68	100	6,8	850	1,25	85,0
М24	1	2050	102,5	50	5,1	1280	0,625	63,8

Для оценки пригодности схем с термопарами и терморезисторами для создания измерительного прибора приведем эти схемы к эквивалентному генератору. Найдем чувствительность этих схем по напряжению, по току и по мощности:

$$q_c^e = K_n q^e, \quad K_n = \frac{1}{1 + K_{11}}, \quad K_{11} = \frac{R_e}{R_r},$$

$$q_c^i = q_c^e \frac{1}{R_r}, \quad q_c^P = q_c^e q_c^i \Delta t.$$

В качестве выходных приборов рассмотрим два микроамперметра типа М24 на 100 мка и 200 мка. Основным условием возможности реализации схемы является $q_c^e > q_c^u$; $q_c^i > q_c^i$; $q_c^P > q_c^P$.

В табл. 3 приведены величины чувствительностей, рассчитанные для термопары хромель-копель и мостовой схемы с терморезисторами. Кроме того, приведены чувствительности микроамперметров типа М24.

Таблица 3

q_c^e мкв/град	q_r^U мкв/град	q_c^i мка/град	q_r^i мка/град	q_c^P нвт/град	q_r^P нвт/град
68,6	850	0,101	1,25	6,93	85
499	850	0,734	1,25	29,3	85
60	200	0,75	2,5	3,6	37,5
703	200	8,78	2,5	494	37,5

Из табл. 3 следует, что основному условию удовлетворяет схема с терморезисторами и микроамперметром на 200 мка, сопротивлением 75—85 ом. Схемы на термопарах и терморезисторах с микроамперметром на 100 мка, сопротивлением 680 ом не могут быть осуществлены, так как не хватает чувствительности микроамперметров по напряжению.

Температурный коэффициент и ток датчика

Для выяснения стабильности температурного коэффициента сопротивления медного провода по длине было проведено его измерение для 8 датчиков и определено его среднее значение. Измерение сопротивления датчика производилось мостом типа МО-62 класса 0,1, а измерение температуры термометром с ценой деления 0,1°C. Измерения производились при температуре около нуля и около 20°C. По ряду измерений графически были найдены сопротивления (табл. 4).

Т а б л и ц а 4

R_0 ом	R_{20} ом	ΔR ом	$R_0\alpha_0$ ом/град	$\alpha_0 10^5$ 1/град	$\epsilon_\alpha 10^5$ 1/град
94,3	102,4	8,1	0,405	429	+4
99,9	108,3	8,4	0,420	420	-5
100,2	109,7	8,5	0,425	423	-2
100,6	110,2	8,6	0,430	426	+3
102,1	108,7	8,6	0,430	420	-5
99,8	108,5	8,7	0,435	436	+11
93,3	101,2	7,9	0,395	423	-2
99,6	108,0	8,4	0,420	422	-3

Температурный коэффициент вычислялся по формуле

$$\alpha_0 = \frac{\Delta R}{\Delta t} \cdot \frac{1}{R_0} \cdot \frac{1}{\text{град}}$$

Отсюда среднее значение температурного коэффициента

$$\bar{\alpha}_0 = \frac{\sum \alpha_0}{n} = 425 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{град}};$$

отклонение от среднего

$$\epsilon_\alpha = \alpha_0 - \bar{\alpha}_0;$$

среднеквадратичное отклонение

$$s_\alpha = \sqrt{\frac{\sum \epsilon_\alpha^2}{n-1}} = \pm 5,41 \cdot 10^{-5};$$

ошибка среднего

$$s_{\alpha} = \frac{s_{\alpha} \cdot 100}{\alpha_0 \sqrt{n}} = 0,45\%$$

Как видно из приведенных результатов, ошибка в определении температурного коэффициента лежит в пределах 0,5%.

Выбор тока датчика зависит от допустимого перегрева Δt_d , а следовательно, и от допустимой погрешности $\bar{\alpha}_0 = 0,45\%$. Поскольку погрешность от $\bar{\alpha}_0$ и от Δt_d являются систематическими для данной серии приборов, то при проектировании задано предельное отклонение не более 1%. Если задать надежность 0,966, то предельное отклонение по $\bar{\alpha}_0$ будет равно 0,67%. Тогда предельное отклонение по Δt_d составит 0,33%, что от шкалы в 80°C составит 0,3°C.

Найдем ток датчика, дающий заданный перегрев. Чисто экспериментальным путем измерить перегревы порядка 0,1—0,4°C очень трудно. Вольтамперную характеристику датчика можно рассчитать. Для области критериев подобия [1]

$$Nu_m = 1,18 \sqrt[8]{Gr_m Pr_m}$$

где Gr_m — критерий Грасгоффа;

Pr_m — критерий Прандтля;

Nu_m — критерий Нуссельта.

Функция Nu_m относится к трубам, проволокам, плитам, шарам и должна близко соответствовать датчику разрабатываемого прибора. Проверить гипотезу соответствия функции Nu_m и подсчитать эффективную поверхность F_3 теплоотдачи датчика можно по постоянству отношения

$$C = \frac{Nu_m}{\alpha F_3} = \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{d}{F_3}$$

Для проверки гипотезы соответствия и подсчета эффективной поверхности датчика были проведены опыты (табл. 5). При этом:

Таблица 5

U_d , в	$R_{д,х}$, Ом	$R_{д,л}$, Ом	Δt_d , град	i_d , ма	P_d , мвт	αF_3 , мвт/град	$Gr_m Pr_m$	Nu_m	C_i , град/мвт	s_i
0,40	107,93	108,05	0,28	3,7	1,5	5,4	1,88	1,28	236	+5
0,68	108,58	108,84	0,61	6,2	4,3	7,0	4,10	1,41	200	-31
1,00	108,68	109,20	1,22	9,1	9,1	7,4	8,24	1,53	207	-24
1,40	108,93	109,88	2,24	12,7	17,9	7,9	15,1	1,65	209	-22
1,60	108,70	109,70	3,42	14,5	23,0	6,7	23,0	1,75	261	+30
2,66	109,12	112,61	8,23	23,6	62,3	7,5	55,5	2,04	272	+41

1) измерялось сопротивление датчика в холодном $R_{д.х}$ и нагретом $R_{д.н}$ состояниях;

2) измерялось напряжение на датчике $U_{д}$;

3) перегрев датчика равен:

$$\Delta t_{д} = \frac{R_{д.н} - R_{д.х}}{R_0 \alpha_0}, \quad R_0 = 99,8 \text{ ом}, \quad \alpha_0 = 0,00425 \frac{1}{\text{град}};$$

4) ток и мощность в датчике

$$i_{д} = \frac{U_{д}}{R_{д.н}}, \quad P_{д} = U_{д} i_{д};$$

5) теплоотдача

$$\alpha F_{\vartheta} = \frac{P_{д}}{\Delta t_{д}};$$

6) критерий Грасгоффа и комплекс

$$Gr_m = g \frac{\beta}{\nu_m^2} d^3 \Delta t_{х.в}, \quad Gr_m Pr_m;$$

7) критерий Нуссельта

$$Nu_m = 1,18 \sqrt[8]{Gr_m Pr_m};$$

8) параметр проверки гипотезы

$$C_i = \frac{Nu_m}{\alpha F_{\vartheta}};$$

9) среднее значение параметра

$$\bar{C} = \frac{\sum C_i}{n} = 231;$$

10) отклонение параметра

$$\epsilon_i = C_i - \bar{C};$$

11) среднеквадратичное отклонение

$$s_C = \sqrt{\frac{\sum \epsilon_i^2}{n-1}} = 30,4;$$

12) отклонение среднего

$$s_{\bar{C}} = \frac{s_C \cdot 100}{\bar{C} \sqrt{n}} = 5,36\%.$$

Из полученных результатов видно, что применимость функции Nu_m для датчиков прибора в пределах 5,36% по C законна, хотя достоверно сказать нельзя, что 5,36% относится к погрешности измерения или непостоянству C .

Подсчитаем эффективную поверхность и длину датчика.

$$F_3 = \frac{d}{\bar{C}} = 666 \text{ мм}^2, \quad l_3 = \frac{F_3}{\pi d} = 53 \text{ мм}.$$

Параметр теплоотдачи датчика $\bar{C} = 231$ град/мвт позволяет рассчитать вольтамперную характеристику, построить зависимость температуры датчика от тока и найти предельные значения тока датчика. Расчет вольтамперной характеристики:

1) задан перегрев датчика Δt_d ;

2) температура датчика $t_d = t_b + \Delta t_d, \quad t_b = 20^\circ\text{C};$

3) средняя температура

$$t_m = \frac{1}{2} (t_b + t_d);$$

4) критерий Грасгоффа и Прандтля

$$Gr_m = 2,3 \cdot 10^{-9} \frac{\Delta t_d}{\nu_m^2},$$

$$Pr_m = 0,722;$$

5) критерий Нуссельта

$$Nu_m = 1,18 \sqrt[8]{Gr_m Pr_m};$$

6) теплоотдача

$$\alpha F_3 = \frac{Nu_m}{231};$$

7) мощность

$$P_d = \alpha F_3 \Delta t_d;$$

8) сопротивление

$$R_d = R_0 (1 + \alpha_0 t_d);$$

9) ток и напряжение

$$i_d = \sqrt{\frac{P_d}{R_d}}, \quad U_d = i_d R_d.$$

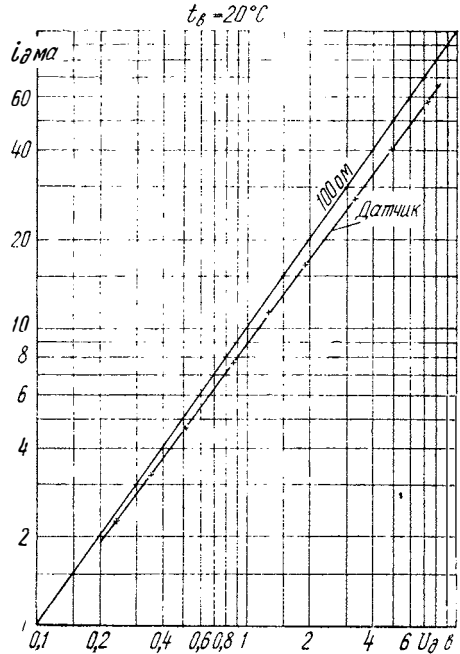


Рис. 2. Вольтамперная характеристика датчика

На рис. 2 приведена вольтамперная характеристика датчика, рассчитанная по вышеприведенному алгоритму, а на рис. 3 — перегрев датчика от тока.

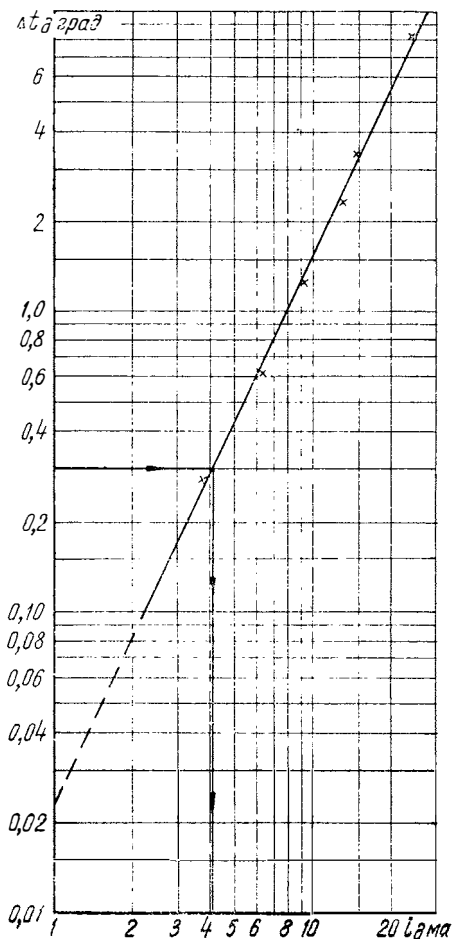


Рис. 3. Перегрев датчика

Кроме того, на рис. 3 нанесено предельное значение перегрева датчика $0,3^{\circ}\text{C}$ от предельного тока $4,1$ ма.

Расчет измерительного моста и шкалы прибора

Для расчета шкалы выходного прибора необходимо найти ток в измерительной диагонали моста.

На рис. 4 представлена расчетная схема измерительного моста. Вектор тока для этой схемы [2]:

$$i_{\beta} = Y_{\beta\alpha} U_{\alpha}.$$

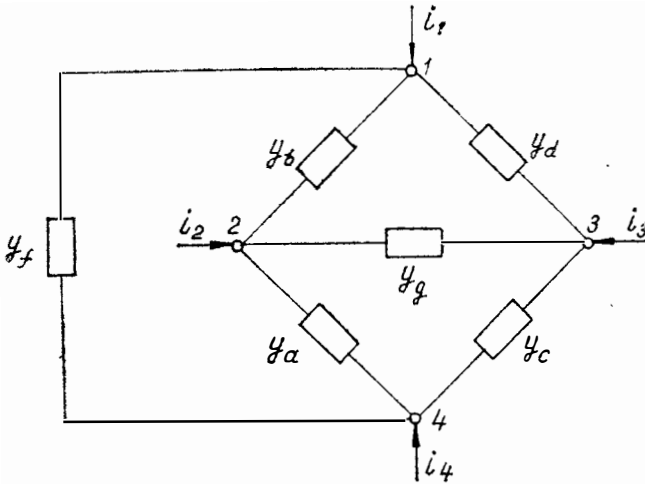


Рис. 4 Расчетная схема измерительного моста

Матрица проводимостей

$$Y_{\beta\alpha} = \begin{array}{c|c|c|c} y_b + y_d + y_f & -y_b & -y_d & -y_f \\ \hline -y_b & y_g + y_a + y_b & -y_g & -y_a \\ \hline -y_d & -y_g & y_c + y_d + y_g & -y_c \\ \hline -y_f & -y_a & -y_c & y_f + y_a + y_c \end{array}$$

Заземляя четвертый узел, получим матрицу проводимостей исходной системы

$$Y_{\beta\alpha} = \begin{array}{c|c|c} y_{11} & -y_b & -y_d \\ \hline -y_b & y_{22} & -y_g \\ \hline -y_d & -y_g & y_{33} \end{array}$$

где y_{11} , y_{22} , y_{33} — собственные проводимости узлов.

Граф исходной системы с заземленным 4-м узлом представлен на рис. 5. Решением данной системы будет вектор-потенциал узлов

$$U_{\alpha} = Z_{\alpha\beta} i_{\beta}.$$

Матрица сопротивлений

$$Z_{\alpha\beta} = \frac{1}{D_4} \begin{array}{|c|c|c|} \hline D_{11} & D_{12} & D_{13} \\ \hline D_{21} & D_{22} & D_{23} \\ \hline D_{31} & D_{32} & D_{33} \\ \hline \end{array}$$

где D_4 — определитель исходной системы;
 D_{ij} — алгебраические дополнения.

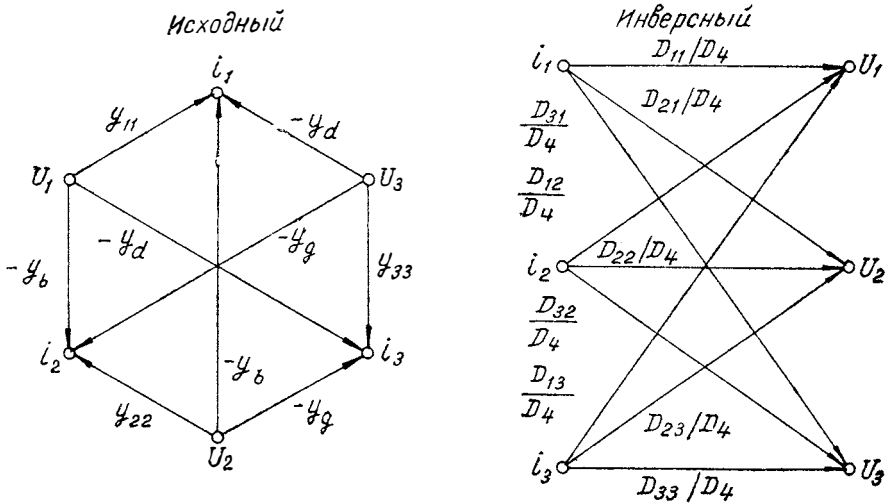


Рис. 5. Графы моста (четвертый узел заземлен)

На рис. 5 дан инверсный граф решений, из которого найдены основные параметры моста. Входная проводимость со стороны питания

$$y_{mf} = \frac{D_4}{D_{11}}, \quad \text{или} \quad y_{mf} = \frac{D_{22}}{D_{11}} y_{ma}.$$

Входная проводимость со стороны датчика

$$y_{ma} = \frac{D_4}{D_{22}}, \quad y_{ma}^0 = \frac{D_4^0}{D_{22}},$$

$$y_{ma}^0 = y_{22}^0 - \frac{y_b D_{21} + y_g D_{23}}{D_{22}}.$$

Индекс нуля относится к параметрам начальной точки равновесия моста.

Коэффициент передачи напряжения моста

$$k_{gf}^U = \frac{D_{21} - D_{31}}{D_{11}},$$

или

$$k_{gf}^U = \frac{dy_a y_d}{D_{11}},$$

где $dy_a = f(t)$ — девиация проводимости датчика от изменения температуры.

Ток гальванометра

$$i_g = k_{gf}^U \frac{y_g}{y_{mf}} i_1,$$

или

$$i_g = \frac{-dy_a}{y_{m0}^0 + dy_0} i_{g0}.$$

Входная проводимость со стороны датчика

$$y_{m0}^0 = (y_b + y_g + y_{a0}) - \frac{y_b^2 (y_c + y_d + y_g) + y_g^2 (y_b + y_d + y_f) + 2y_b y_d y_g}{(y_b + y_d + y_f)(y_c + y_d + y_g) - y_d^2}.$$

Приведенный ток

$$i_{л0} = \frac{y_d y_g y_f}{(y_b + y_d + y_f)(y_c + y_d + y_g) - y_d^2} e_f,$$

где e_f — электродвижущая сила питания моста, включенная в ветвь f .

Девиацию проводимости датчика можно найти через относительное приращение сопротивления датчика dr и приращение температуры dt :

$$dy = -y_{a0} \frac{dr}{1 + dr}, \quad dr = k_t dt,$$

где k_t — температурный коэффициент датчика.

Построение шкалы прибора (рис. 6) может быть выполнено по линии тангенса

$$x_k = b - \frac{a}{\operatorname{tg} \omega_k}, \quad c = a \cos \omega_k, \quad g = a \sin \omega_k.$$

Экспериментально полученную функцию угла поворота стрелки микроамперметра от тока аппроксимируем полиномом. Для микроамперметров М24 и М93 на 200 мка была получена функция угла от тока

$$\omega_k = (((0,000011 (q - 3) - 0,002421) (q - 2) + 0,002867) \times \\ \times (q - 1) + 0,416456) q + 0,749618, \quad q = 20000 i_k.$$

В связи с тем, что при большом количестве вычислений ошибки округлений могут ухудшить результат на 1—3 порядка, а допустимая погрешность лежит в пределах 0,1—0,2%, расчет приходится

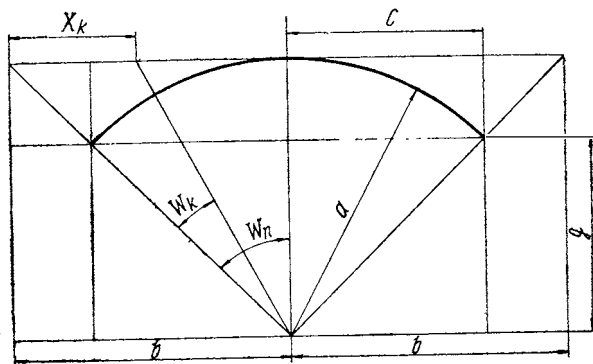


Рис. 6. Построение шкалы прибора

вести минимум с пятью знаками, что возможно только на цифровых вычислительных машинах. В данном случае была составлена программа на языке Алгол-60 с использованием транслятора ТАМ-22 вычислительной машины «Минск-22».

Принципиальная схема прибора

Прибор типа ТМ-М (3) (рис. 7) представляет из себя неуравновешенный мост, в измерительной диагонали которого включен микроамперметр типа М24 или М93 с сопротивлением рамки 75—85 ом.

Для перекрытия широкого диапазона температур от -80 до $+160^{\circ}\text{C}$ и сохранения погрешности измерений в пределах $\pm 1^{\circ}\text{C}$ мост выполнен на три предела. Чтобы уменьшить погрешность от включения линии, соединяющей датчики, в цепь моста введены медные компенсационные сопротивления R_{17-24} , которые позволяют скомпенсировать линию в пределах до 0,75 ом.

Коммутация датчиков осуществляется тремя переключателями, по шесть датчиков в каждом разъеме. Схема соединения датчиков параллельная.

Питание прибора возможно от одного элемента с напряжением в пределах 1—1,6 в, с емкостью не менее 2—3 а·ч. Предусмотрено подключение источника с напряжением 6 и 12 в.

Для компенсации дрейфа напряжения источника питания при разрядке элементов в цепь моста включено два переменных сопротивления R_{14} , R_{15} , позволяющих «грубо» и «точно» настраивать стрелку микроамперметра на максимальное отклонение. Для непрерывного контроля напряжения питания в схеме имеются на

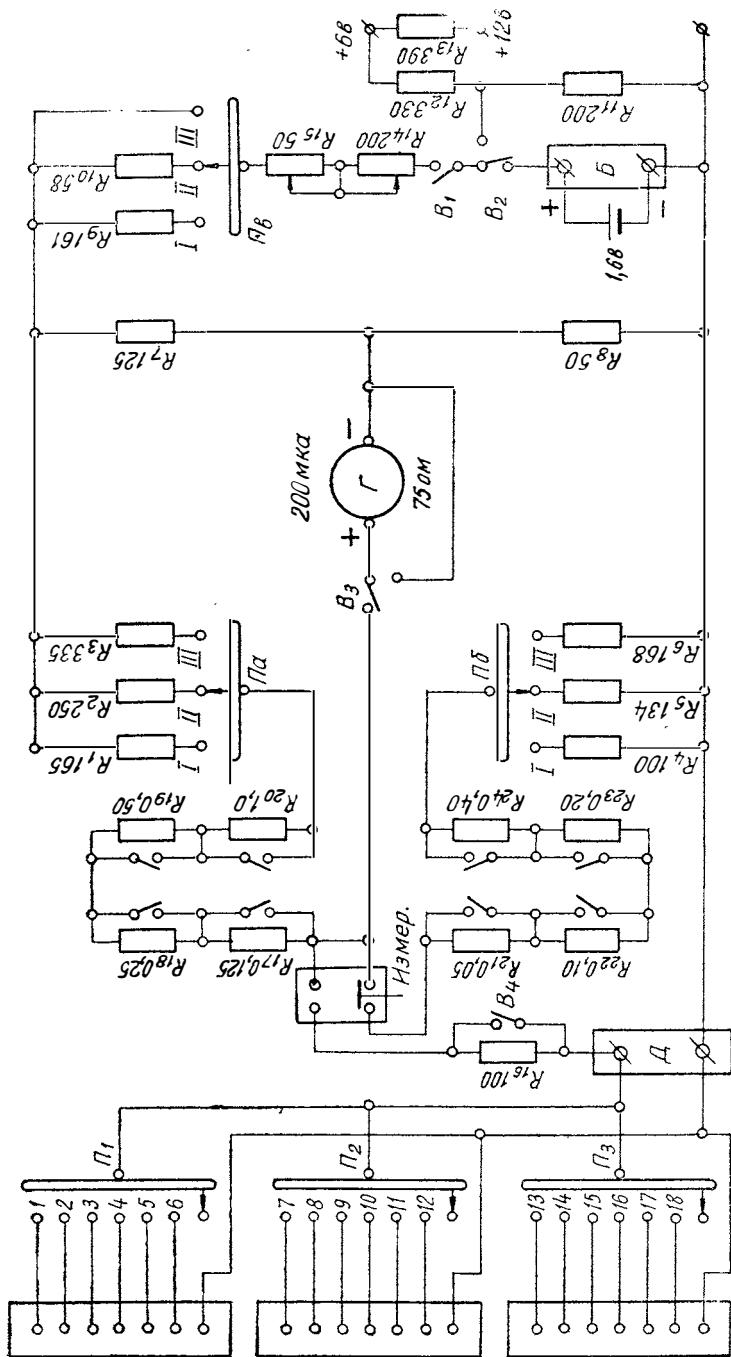


Рис. 7. Температурный мост ТМ-М-2(3)

каждом пределе контрольные сопротивления R_{1-6} . Кроме того, для настройки компенсации линии в цепь измерения включен эталон датчика ($R_{16}=100$ ом). Погрешность прибора складывается из погрешности моста, шкалы микроамперметра и датчика. Опыт изготовления прибора показывает, что при хорошей подгонке сопротивлений моста погрешность можно свести к $\pm 0,1^\circ\text{C}$, погрешность датчиков к $0,3^\circ\text{C}$, а погрешность шкалы и самого гальванометра $\pm 0,8^\circ\text{C}$.

В связи со сложностью индивидуального изготовления шкал на приборы с одинаковым типом микроамперметра ставилась одна и та же шкала, полученная фотоспособом с одного негатива.

Проведенные длительные эксплуатационные испытания прибора типа ТМ-М-2 (3) показали высокую его долговечность. Несколько приборов работает уже в течение 5 лет без ремонта. Они работали на Севере при температурах до -50°C и на юге при температурах до $+40^\circ\text{C}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михеев М. А. Основы теплопередачи. М., Госэнергоиздат, 1947.
2. Мэзон С. и Циммерман Г. Электронные цепи, сигналы и системы М., Изд. иностр. лит., 1963.
3. Преображенский В. П. Теплотехнические измерения и приборы. М., Госэнергоиздат, 1953.

РЕГИСТРИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО АППАРАТУРЫ МНОГОТОЧЕЧНОГО СТАТИЧЕСКОГО ТЕНЗОМЕТРИРОВАНИЯ ТА-1000 НА БАЗЕ ТЕЛЕТАЙПА СТА-М67Б

В настоящее время большое значение придается исследованию несущих систем (рам и кузовов) автомобиля с помощью статического тензометрирования. При тензометрировании сложных конструкций число точек замера может достигать тысячи. Для этой цели в НАМИ в 1961 г. была разработана и создана многоточечная тензометрическая аппаратура ТА-1000 с автоматической регистрацией результатов измерений.

Учитывая накопленный опыт эксплуатации этой аппаратуры, в 1972 г. был заново разработан и создан новый блок управления, обеспечивающий возможность регистрации полученных результатов тензометрирования на телетайпе СТА-М67Б. Этот стартовый телеграфный аппарат, который серийно выпускается отечественной промышленностью и имеет высокую надежность в работе, используется в качестве печатающего устройства.

Кроме этого, телетайп СТА-М67Б имеет реперфораторную приставку для получения информации на перфорированной ленте шириной 17,5 мм в пятиэлементном международном коде № 2.

Автоматическая тензометрическая аппаратура (рис. 1) состоит из следующих узлов (рис. 2): десяти переключателей ПД-100 для подключения ста тензорезисторов к каждому; самобалансирующегося тензометрического измерительного моста АМ-3; телетайпа СТА-М67Б и блока управления, который координирует действия перечисленных элементов.

Основной задачей при разработке блока управления было согласование с новым регистрирующим устройством ранее изготовленных автоматических мостов и переключателей без каких-либо переделок.

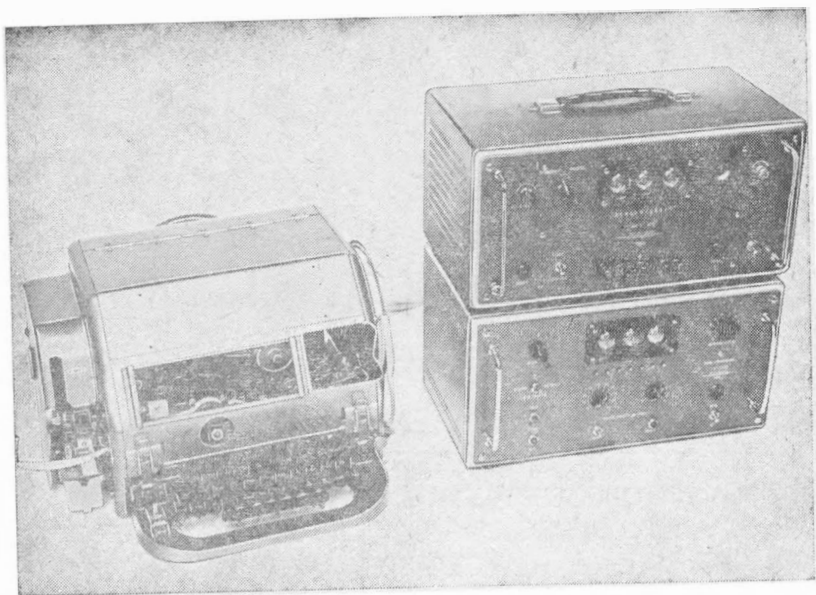


Рис. 1. Тензометрическая аппаратура ТА-1000 с телетайпом СТА-М67Б

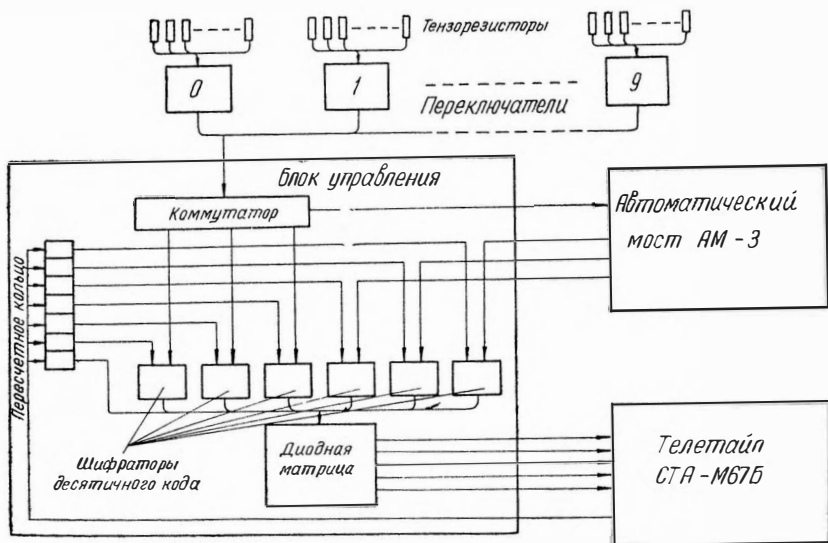


Рис. 2. Функциональная схема

Работа аппаратуры заключается в том, что каждый переключатель последовательно присоединяет к измерительному тензометрическому мосту по одному тензометру, а измерительный мост определяет величину дисбаланса. Трехзначные номера тензорезисторов от переключателей преобразуются в блоке управления в трехразрядный десятичный код. Величина дисбаланса, т. е. информация о состоянии тензорезисторов, из автоматического моста в трехразрядном двоично-десятичном коде также поступает в блок управления, где поразрядно подключается к шифратору, имеющему на выходе десятичный код. Сигналы этого кода поступают на диодную матрицу, которая осуществляет преобразование сигналов десятичного кода в сигналы пятиэлементного кода № 2. Далее эта информация в определенной форме и последовательности поступает в телетайп СТА-М67Б для регистрации на телеграфной ленте в виде печатных десятичных чисел и на перфоленге в международном телеграфном коде № 2.

Для разделения результатов одного измерения (т. е. номера и состояния тензорезистора) от другого на телеграфной ленте делается пробел. Таким образом, блок управления осуществляет последовательное подключение к диодной матрице одного разряда пробела, трех разрядов номера тензорезистора и трех разрядов его дисбаланса, т. е. цикл замера на одном тензорезисторе занимает в записи семь разрядов.

При номинальной скорости телетайпа, равной 400—420 знаков в минуту, можно регистрировать до 57—60 замеров каждую минуту, что хорошо сочетается со скоростью работы автоматического тензометрического моста АМ-3.

Для записи одного знака на телеграфной ленте в телетайп СТА-М67Б должна поступать комбинация из пяти кодовых, равномерно распределенных во времени токовых и бестоковых сигналов. В практике связи такие сигналы поступают в приемный телетайп от передающего по одному линейному проводу последовательно друг за другом.

В аппаратуре ТА-1000 кодирование передаваемых знаков производится в блоке управления с помощью вышеуказанной диодной матрицы. Преобразованные в международный код № 2 сигналы каждого знака передаются из блока управления в телетайп СТА-М67Б одновременно по пяти параллельным линиям.

Для последовательного подключения выходных линий диодной матрицы к приемному неполяризованному электромагниту телетайпа СТА-М67Б используется после незначительной переделки передающий механизм этого аппарата. Этим же механизмом достигаются синхронность печати и выполнение всех вспомогательных операций в блоке управления с помощью тактовых импульсов, которые задаются самим телетайпом СТА-М67Б.

Одной из вспомогательных операций является последовательность передачи знаков каждого разряда. Эта последовательность осуществляется в блоке управления кольцевой цепочкой триггеров,

которая в свою очередь управляется тактовыми импульсами от телетайпа и работает синхронно с ним. При такой синхронной работе уменьшение или увеличение оборотов двигателя телетайпа СТА-М67Б не влияет на качество печати и перфорации.

После того как телетайп напечатает результаты измерения, блок управления выдает команду для подключения переключателя к следующему тензорезистору и срабатывания тензометрического моста АМ-3. Таким образом, автоматически осуществляется последовательный обход всех тензорезисторов одного переключателя, получение информации о состоянии тензорезисторов и регистрация дисбаланса и номеров от 00 до 99 номера одного переключателя.

Блок управления имеет устройство для автоматической установки переключателей как в исходное положение, так и на заранее выбранный номер. Скорость автоматического переключения не менее 10 номеров в секунду. Это же самое устройство позволяет автоматически останавливать переключатель и печать при последовательном обходе тензорезисторов на заранее выбранном номере тензорезистора в отличие от ранее разработанного блока управления, где такой возможности нет.

Аппаратура ТА-1000 с использованием телетайпа СТА-М67Б применяется при исследовании несущих систем автомобилей лабораторией рам и кузовов.

Применение телетайпа СТА-М67Б и вновь разработанного блока управления позволяет при подготовительных работах по тензометрированию конструкций (проверка качественной наклейки тензорезисторов и т. п.) иметь информацию только в цифровой форме. При непосредственной работе по статическому многоточечному тензометрированию информация регистрируется еще и на перфоленте в международном коде № 2, что позволяет вести машинную обработку результатов измерения с помощью вычислительной техники и расширить границы статистических методов обработки результатов тензометрирования.

АВТОМАТИЧЕСКИЙ РАСХОДОМЕР ТОПЛИВА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ В СТЕНДОВЫХ УСЛОВИЯХ

Введение

При исследовании работы автомобильных двигателей в условиях стендовых испытаний одним из важнейших показателей является количество потребляемого двигателем топлива за единицу времени.

Расход топлива определяется весовым или объемным способами, из которых первый более точный и перспективный.

Для измерения массы используются следующие методы: компенсационный (нулевой), непосредственный и комбинированный.

При измерении массы, основанном на компенсационном методе, значение массы груза определяется при возвращении подвижной системы в исходное положение равновесия. В качестве примера можно привести товарные и обыкновенные настольные весы.

Весоизмерительные приборы, у которых компенсационный метод измерения осуществляется подбором или нахождением требуемого положения гирь, не являются перспективными, так как они обладают малой производительностью. Однако в автоматических порционных весах, предназначенных для отвешивания равных порций, отпадает необходимость в подборе или перемещении гирь, что позволяет строить их на компенсационном методе измерений [5].

Непосредственный метод измерения реализуется с помощью пружинных весов с маятниковым противовесом (квадрантом) (в том числе и электротензометрических) и гидравлических весов [2]. Основное достоинство таких весов — быстрота действия и простота автоматизации. Однако все эти весы имеют ограниченную точность.

При комбинированном методе измерений веса совмещаются основные достоинства компенсационного и непосредственного методов. Этот метод применяется главным образом в конструкциях

таких весов, к которым предъявляются высокие требования по точности. Примером весов, работающих по комбинированному методу, являются циферблатные весы с накладными гирями, крутильно-равноплечные весы и другие. При этом высокие метрологические показатели достигаются путем усложнения конструкции, увеличения времени взвешивания и затруднения автоматизации процесса взвешивания.

Таким образом, можно сделать вывод, что наилучшим методом измерения является компенсационный (нулевой) метод, поскольку он позволяет с высокой точностью определять заданный вес топлива и отличается простотой автоматизации.

Принцип работы расходомера топлива

В рассматриваемом устройстве (рис. 1) применен следующий принцип определения веса топлива и времени, в течение которого это топливо расходуется двигателем.

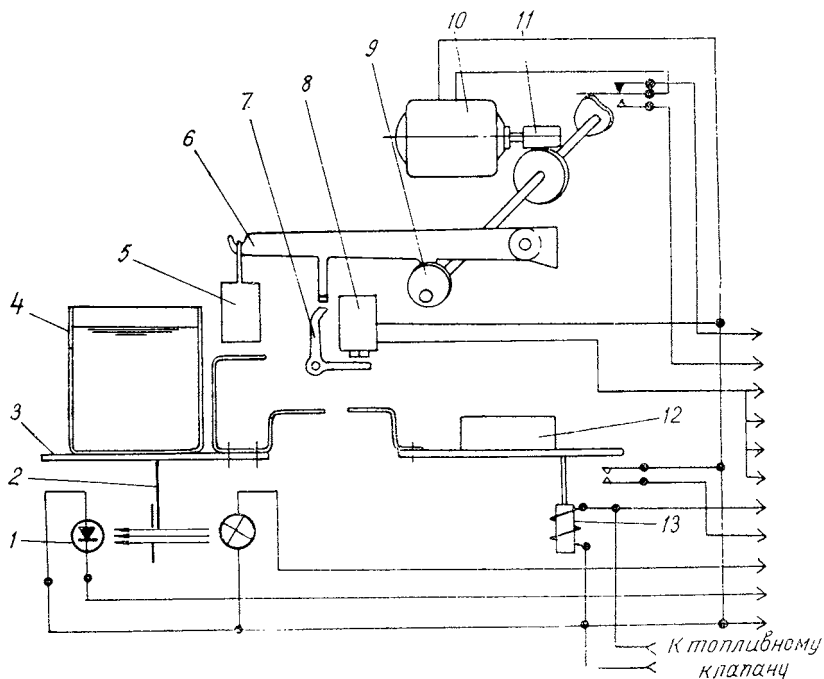


Рис. 1. Функциональная схема весов и нагружающей системы

Двигатель получает топливо из сосуда 4, расположенного на чашке весов 3. По мере расходования топлива чашка весов поднимается и, проходя через положение равновесия, шторка 2 открывает

вает щель, фотодиод *I* освещается и выдает сигнал. По этому сигналу на чашку весов, на которой стоит сосуд с топливом, опускаются гири (навески) 5 заданного веса и начинается суммарный отсчет оборотов и времени. Гири могут быть наложены на чашку весов в течение всего времени расходования заданного количества топлива. Поэтому время включения мотора, поворота эксцентрикового валика, опускание гирь на чашку весов занимает небольшую часть времени от всего времени расходования заданного количества топлива. Под тяжестью гири чашка весов опустится вниз и по мере расходования топлива будет медленно подниматься. Как только двигатель выработает топливо, равное весу гири (навески), весы снова пройдут положение равновесия и блок управления выдаст сигнал на окончание счета времени, оборотов и для подъема гирь в исходное положение. Таким образом, мы имеем информацию о времени, за которое двигатель израсходовал заданное количество топлива, и о суммарном числе оборотов за это время.

Задачей автоматизации описанного процесса является упрощение техники измерения, исключающее участие человека при выполнении операций измерения и предоставление экспериментатору возможности сосредоточить все внимание на режиме работы двигателя, а также повышение точности измерения путем исключения субъективных ошибок.

В связи с этим на базе ранее созданного в отделе прибора расходомера топлива релейного типа был разработан полупроводниковый вариант РТ-5м, состоящий из следующих узлов:

- 1) весовое устройство с сосудом и нагружающей системой;
- 2) топливный клапан для пополнения расходуемого из сосуда топлива;
- 3) датчик числа оборотов испытываемого двигателя;
- 4) счетчик времени и числа оборотов;
- 5) блок управления измерительным устройством.

Весовое устройство

В установке применены настольные весы типа ВНО-10 и ВНО-2 с грузоподъемностью соответственно 10 и 2 кг с точностью взвешивания при полной нагрузке 0,1%.

На одной из чашек весов 3 (см. рис. 1) установлен сосуд с расходуемым топливом, на другой — уравновешивающий груз 12 для нормального резерва топлива. При автоматическом пополнении топлива можно значительно уменьшить его резерв в сосуде, что позволит использовать весы меньшей грузоподъемности и соответственно более чувствительные.

Чтобы задавать различные желаемые веса расходуемого топлива, имеются четыре гири, веса которых относятся как 1:2:4:8. Накладывая их в различных сочетаниях, можно изменять задаваемые веса в диапазоне 1:15. Для 10 кг весов используются гири

50—100—200—400 г; на весах 2 кг применяются гири 10—20—40—80 г. На весах типа ВНО-10 наложение и снятие гирь производится электромотором с редуктором и эксцентриковым механизмом 9. Для весов ВНО-2 — посредством четырех электромагнитов, включаемых в требуемом сочетании сигналами из блока управления.

Нагружающее устройство работает следующим образом. Гири 5 подвешены на рычагах 6, которые опираются на эксцентрики 9. Когда из блока управления дается команда на опускание гирь, то мотор 10 через редуктор 11 поворачивает валик эксцентрика на 180°.

В этом положении валик освобождает рычаги, на которых подвешены гири. Однако опустить гири на чашку весов могут только те рычаги, из-под которых электромагнитами 8 убраны упоры 7. Электромагниты включаются в требуемом сочетании из блока управления при помощи переключателя, расположенного на передней панели блока управления. По окончании измерения заданного веса топлива мотор включается и поворачивает валики эксцентрика, возвращая их в исходное состояние. При этом те гири, которые были опущены на чашку весов, поднимаются рычагами и нагружающее устройство вновь готово к работе.

Для сигнализации относительного положения чашек весов и для подачи в блок управления команды к началу очередных операций используется фотоэлектрическое устройство 1, которое в отличие от механических и жидкостных контактов совершенно не нагружает весы дополнительным усилием и, следовательно, не влияет на их чувствительность. Сигналы фотоэлектрического устройства используются как для управления отсчетом времени и числа оборотов и включением нагружающего устройства, так и для автоматического пополнения сосуда топливом в промежутках между измерениями путем включения электромагнитного клапана. Когда не нужно проводить измерения, но нужна длительная работа двигателя, фотоэлектрическое устройство отключается и тогда управление автоматической доливкой топлива осуществляется установленным на весах микровыключателем 1.

Топливный клапан (кран)

Для работы с описываемой системой пригоден электромагнитный клапан любой конструкции, нормально закрытый и открывающийся при включении электромагнита.

Одновременно с топливным клапаном получает ток обмотка соленоида 13, расположенного под чашкой с уравнивающим грузом. Назначение соленоида — создать на этой чашке некоторое дополнительное усилие, за счет которого в сосуд поступает немного больше топлива, чем нужно для уравнивания. Это позволяет несколько увеличить интервал времени между последователь-

ными срабатываниями клапана для того, чтобы после закрытия клапана топливо из трубки успевало сливаться в сосуд до начала измерения. Величину дополнительного усилия можно регулировать перестановкой якоря в катушке соленоида на различную глубину.

Датчик оборотов

Датчиком оборотов испытуемого двигателя является индуктивный датчик. При каждом обороте вала якорь, установленный на валу, замыкает и размыкает магнитный поток и тем индуктирует в обмотке датчика импульс напряжения. Этот импульс поступает на формирователь сигнала и далее на схему счетчика оборотов.

В качестве датчика времени используется частота 50 гц промышленной сети или от стабилизированного генератора. После удвоения частоты импульсы формируются в прямоугольные и подаются на пересчетную схему для отсчета времени с точностью до 0,01 сек.

Счетчики времени и оборотов

Для отсчета оборотов и времени используются пересчетные декады на полупроводниках [4] с индикаторными цифровыми лампами.

В блоке управления все пересчетные декады взаимозаменяемые и имеют выход для регистрации в двоично-десятичном коде 1—2—4—8.

Четыре декады, предназначенные для регистрации оборотов, позволяют отсчитывать до 9999 оборотов.

Полная емкость счетчика времени, состоящего тоже из четырех декад, составляет 99,99 сек. Выход кода третьей декады, соответствующей целым секундам, подается на схему совпадения *И*. Когда на счетчике времени появилось показание 6,00 сек, схема выдает сигнал к прекращению счета времени оборотов. Подробнее об этом будет сказано ниже.

Блок управления

Управление всеми операциями — наложение и снятие гирь, пополнение сосуда топливом, счет времени и оборотов — осуществляется посредством полупроводниковых логических схем [3], фотоэлектрического сигнализатора на весах и органов управления (два тумблера, две кнопки и переключатель), расположенных на передней панели блока управления.

Функциональная схема расходомера топлива приведена на рис. 2.

Рассмотрим принцип действия логических элементов схемы [1]. При переходе весов через положение равновесия поднимается флажок 2 и через щель (см. рис. 1) засвечивается фотодиод, ко-

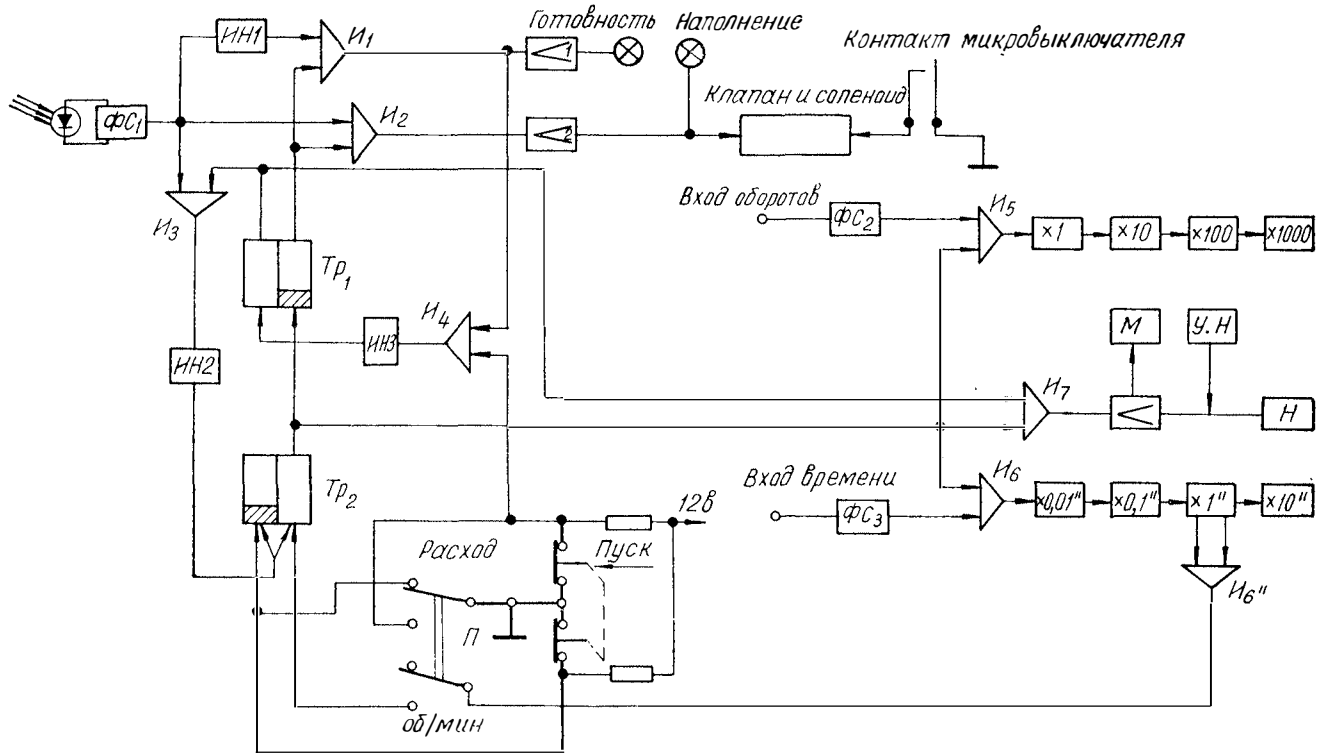


Рис. 2. Функциональная схема расходомера топлива

торый включен в схему формирования сигнала Φc_1 (см. рис. 2). На выходе этой схемы появляется сигнал, свидетельствующий о том, что чашка весов прошла через положение равновесия.

Условимся, что если чашка весов, на которой стоит сосуд с топливом, находится ниже положения равновесия (топлива много), то на выходе схемы Φc_1 будет сигнал, равный «0». Если выше — то на выходе Φc_1 будет сигнал, соответствующий «1». Этот сигнал поступает на схемы совпадения I_2 , I_3 и на инвертор $Ин$.

На выходе схемы совпадения сигнал, равный «1», будет в том случае, если на оба входа поданы сигналы, тоже равные «1». Если хотя бы на одном из входов будет сигнал, равный «0», то и на выходе схемы I тоже будет «0».

Триггер Tr_1 в исходном состоянии имеет на правом выходе сигнал, равный «1», а на левом «0». Этим самым в исходном состоянии триггер Tr_1 разрешает прохождение сигнала от схемы Φc_1 через схемы I_1 , I_2 и запрещает прохождение сигналов через схемы I_5 , I_6 и I_7 .

Рассмотрим принцип действия функциональной схемы при различных режимах работы устройства.

Режим автоматического долива топлива в сосуд на весах

Когда топлива в сосуде много, то с выхода схемы формирователя Φc_1 сигнал, соответствующий «0», поступает на инвертор $Ин_1$ и схемы I_2 и I_3 . С выхода инвертора этот сигнал, имея значение «1», поступает на схему совпадения I_1 . Так как триггер Tr_1 разрешает прохождение сигнала «1» через эту схему, то на ее выходе появляется сигнал, соответствующий «1», который подается на схему I_4 , усилитель I включает индикатор «готовность».

По мере выработки двигателем топлива из сосуда чашка весов пойдет вверх и при переходе через положение равновесия позволит засветить фотодиод, что соответствует на выходе формирователя Φc_1 сигналу, равному «1». В этом случае на выходе инвертора $Ин$ и соответственно схемы I_1 будет сигнал, равный «0». Индикатор «готовность» выключается. Одновременно с этим сигнал с формирователя Φc_1 , соответствующий «1», поступит на схему I_2 . Так как второй вход схемы разрешает прохождение сигнала «1», то он поступит на усилитель I и включит клапан подачи топлива в сосуд, соленоид, удерживающий противоположную чашку весов и индикатор «наполнение».

Когда сосуд с топливом наполнится и своим весом преодолет силу притяжения соленоида, то чашка весов с сосудом пойдет вниз и перейдет через положение равновесия. В этом случае на выходе схемы формирователя Φc_1 опять появится сигнал, соответствующий «0»: выключится клапан, обесточится соленоид и индикатор «наполнение» погаснет. Но в то же самое время включится индикатор «готовность» и процесс автоматического пополнения сосуда топливом повторится.

Режим измерения заданного расхода топлива

В этом случае переключатель П находится в положении «расход». Если есть разрешение со схемы совпадения I_1 , т. е. когда включен индикатор «готовность», то триггер Tr_1 может быть переведен в другое устойчивое состояние нажатием кнопки «пуск». Таким образом, система может быть подготовлена к началу измерения расхода заданного веса топлива только в том случае, когда сосуд с топливом находится ниже положения равновесия чашек весов. При нажатии кнопки «пуск» на правом выходе триггера Tr_1 появится сигнал, равный «0», который поступит на схемы совпадения I_1 , I_2 и запретит прохождение через них сигнала от формирователя Φ_{c1} . С левой половины триггера Tr_1 сигнал, соответствующий «1», будет подан на схемы совпадения I_3 и I_7 .

Если кнопку «пуск» нажать, когда включен индикатор «наполнение», то команда не будет принята, так как схема совпадения I_4 не пропустит сигнал, потому что на ее втором входе в это время сигнал, соответствующий логическому «0».

Таким образом, система подготовлена к началу измерения расхода заданного веса топлива двигателем.

По мере выработки топлива чашка весов, поднимаясь, пройдет через положение равновесия и схема формирователя Φ_{c1} выдаст сигнал, соответствующий «1».

Этот сигнал, пройдя через схему совпадения I_3 , инвертор $Ин_2$, поступит на симметричный вход триггера Tr_2 и переведет его в другое устойчивое состояние. При этом на правом выходе триггера Tr_2 появится сигнал, соответствующий «1», который поступит на схемы совпадения I_5 , I_6 , I_7 и разрешит начать отсчет оборотов и времени, а также включение мотора М, опускающего заданное число навесок N на чашку весов, где стоит сосуд с топливом. Чашка весов опустится и будет в этом положении, пока не вырабатывается заданное количество топлива. Схема формирователя Φ_{c1} выдаст сигнал, соответствующий «0».

При вторичном подъеме чашки весов, когда заданное топливо будет выработано двигателем, чашка с сосудом пройдет положение равновесия, сигнал со схемы формирователя Φ_{c1} , соответствующий «1», опять через схему совпадения I_3 и инвертор $Ин_2$ переведет триггер Tr_2 в исходное состояние. На правом выходе триггера Tr_2 появится сигнал, соответствующий «0», который, поступив на схемы совпадения I_5 , I_6 и I_7 , остановит счет оборотов и времени. Одновременно с этим сигнал дает команду о подъеме навесок с чашки весов. При переходе триггера Tr_2 в исходное состояние с правого его выхода поступит сигнал на триггер Tr_1 и переведет его тоже в исходное положение.

На левом выходе триггера Tr_1 появится сигнал, соответствующий «0», который запретит прохождение сигнала от схемы формирования Φ_{c1} через схему совпадения I_3 . Этот сигнал также запрещает включение мотора, который опускает навески.

Одновременно с этим включается клапан для наполнения сосуда топливом. Далее продолжается описанный выше процесс автоматического долива топлива в сосуд по мере его расхода двигателем.

Таким образом, мы получаем на счетчиках суммарное количество оборотов двигателя и время, за которое двигатель израсходовал заданное количество топлива.

Режим измерения оборотов двигателя

При работе возникает необходимость измерения числа оборотов двигателя, выраженных в «обороты в минуту». Для этого переключатель Π ставится в положение «обороты/мин». В этом случае долив топлива осуществляется автоматически и кнопку «пуск» (т. е. начать измерение времени и оборотов) можно нажимать в любом положении чашки весов с сосудом.

При нажатии кнопки «пуск» образуется запускающий импульс, который поступит на отдельный вход триггера Tr_2 и переведет его в другое устойчивое состояние. Появившийся на его правом выходе сигнал «1» разрешит прохождение счетных импульсов через схемы совпадения I_5 и I_6 , т. е. начать отсчет оборотов и времени. Этот сигнал поступит также и на схему I_7 , но так как на втором ее входе сигнал с левого выхода триггера Tr_1 соответствует «0», то мотор не может получить команды на опускание навесок.

Когда счетчик времени достигнет 6 сек, схема совпадения I_6 выдаст сигнал. Этот сигнал через замкнутые контакты переключателя Π поступит на вход триггера Tr_2 и переведет его в исходное состояние. Сигнал, соответствующий «0», поступит на схемы совпадения I_5 и I_6 и запретит прохождение импульсов с формирователей Φc_2 и Φc_3 на счетчике. При переходе триггера Tr_2 в исходное состояние сигнал с его правого выхода поступит на отдельный вход триггера Tr_1 , чтобы перевести его в первоначальное состояние. Но триггер Tr_1 находится в первоначальном положении и поэтому не изменит своего состояния. Схема вернулась в исходное состояние и готова к новому измерению чисел оборотов.

Отсчитанные за 6 сек обороты двигателя умножаются на 10 и получается количество оборотов двигателя в минуту с точностью до 10 оборотов.

При работе двигателя, когда не нужно производить перечисленные измерения, а только осуществлять долив топлива, отключается питание от всей схемы автоматики. Включение клапана в этом случае осуществляется от механического контакта (контакт микропереключателя), установленного под одной из чашек весов.

Если при испытании двигателя требуется измерять не только расход топлива, но и расход воздуха, то устройство расходомера топлива может быть дополнено пересчетными декадами, получающими импульсы отсчета оборотов роторного воздухомера. В резуль-

тате вместе с отсчетом числа оборотов и времени расходования заданной навески топлива получается также измерение расхода воздуха.

Выводы

Разработанное устройство позволяет с высокой точностью и при малых затратах энергии производить при непрерывной работе двигателя автоматическое измерение при заданном весе топлива времени и числа оборотов коленчатого вала. Причем полученные показания легко считываются экспериментатором с цифровых индикаторов.

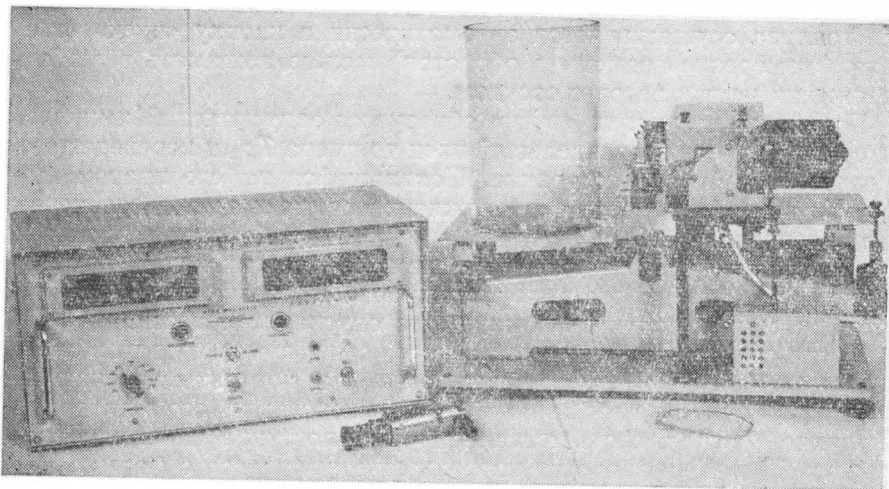


Рис. 3. Общий вид расходомера топлива

Несколько расходомеров топлива типа РТ-5М (рис. 3), изготовленные в НАМИ, применяются в лабораториях при исследовании топливной экономичности двигателей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бруевич Н. Г., Доступов Б. Г. Основы теории счетно-решающих устройств. М., «Советское радио», 1964.
2. Орлов С. П., Авдеев Б. А. Весовое оборудование предприятия. М., Машгиз, 1962.
3. Стонский С. Б. Логические схемы на полупроводниках. М., «Энергия», 1969.
4. Тыгино К. К. Пересчетные декады. М., «Энергия», 1970.
5. Щедровицкий С. С. Техника и измерение массы. М., Стандартгиз, 1961.

МАГНИТОГРАФ С ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ ЧАСТОТНО-ИМПУЛЬСНОГО СИГНАЛА В ЧИСЛОВЫЙ КОД

В работах [1] и [3] были рассмотрены методы и аппаратура магнитной записи с компенсацией неравномерностей скорости движения ленты по отношению, показано преимущество этого способа по сравнению с разностной компенсацией и компенсацией умножением. Но компенсация по отношению, хотя и наиболее совершенна, имеет ряд недостатков. Это заставляет искать новые пути получения не искаженного неравномерностями скорости ленты сигнала при применении магнитографов на автомобилях, работающих в условиях бездорожья. Один из этих путей — применение цифровых систем магнитной записи.

Как известно, на точность цифровой записи сам процесс магнитной регистрации по существу не влияет. Если пренебречь возможной ошибкой из-за выпадения, то при цифровой записи нет других причин, которые бы исказили данные, представленные в цифровой форме на входе регистратора, исключая частотные искажения. Следовательно, точность и надежность цифровой записи зависит от точности и надежности датчика и аналогоцифрового преобразователя. По указанным причинам целесообразно использовать систему записи с кодово-импульсной модуляцией для регистрации различных параметров на автомобилях, работающих в очень тяжелых дорожных условиях, когда воздействие знакопеременных ускорений на лентопротяжный механизм велико и вызванные ими неравномерности скорости движения ленты превышают 10%. Кроме того, при цифровой системе регистрации появляется возможность использования ЦВМ без дополнительных преобразователей аналог — код для обработки зарегистрированных результатов. Такая необходимость возникает при обработке данных по специальным программам, отличным от тех, по которым работают специализированные анализаторы.

Совершенно ясно, что при цифровой записи наиболее целесообразно преобразовывать аналоговую величину в код непосредственно в цепи датчика без промежуточных преобразований. Но из-за малой величины сигнала, снимаемого с большинства применяемых датчиков, такое решение вопроса встречает серьезные трудности. Описанные в литературе преобразователи аналог—код с чувствительностью порядка 10—20 мкв и тактовой частотой 10—100 кГц весьма сложны, имеют большие объемы, потребляют большие мощности. Указанные недостатки препятствуют применению таких преобразователей в малогабаритных системах магнитной записи.

Вплоть до последних лет не было известно о разработке преобразователей аналог—код необходимой чувствительности и сопоставимых по габаритам и потреблению энергии с блоками записи с ЧИМ. Только в последнее время появились сообщения о разработке преобразователей аналог—код на основе БИС технологии, которые сопоставимы по размерам с блоками с ЧИМ, но имеют недостаточную чувствительность для работы с тензорезисторами (чувствительность порядка 1 мв).

По указанным причинам приходится отказываться от применения преобразователей аналог—код в портативной магнитной записи и вести разработку дискретной системы записи на иных принципах.

Частотно-импульсную магнитную запись можно рассматривать как кодовую запись, где число импульсов, записанных на ленте в единицу времени, можно считать кодовой группой, отображающей ординату регистрируемого процесса. При воспроизведении ЧИМ записи можно подсчитать число импульсов в принятом интервале времени и на выходе устройства воспроизведения получить код. Но так как при записи и воспроизведении скорость движения ленты непостоянна, то полученный код будет содержать ошибку из-за изменений скорости ленты.

Указанного недостатка такой системы формирования кода можно избежать, если при записи на ленту писать одновременно с рабочими процессами и стабильную частоту, отображающую время, а при воспроизведении из этой частоты формировать временные интервалы, заполняемые импульсами, сформированными из сигнала рабочего канала. Автором была предложена и разработана такая система.

Структурная схема преобразования частоты в код приведена на рис. 1. На вход устройства формирования импульсов поступает частота F_p , считанная с рабочей дорожки ленты. Вследствие изменений скорости движения ленты эта частота может измениться на величину $\pm \Delta F_{p.п.}$. На вход устройства формирования временного интервала поступает частота F_k , считанная с дорожки компенсации, при величине паразитной девиации $\pm \Delta F_{k.п.}$. Так как оба указанных сигнала записаны одновременно на одном и том же носителе, то при равенстве F_p и F_k будут равны и их изменения $\pm \Delta F_{p.п.}$ и $\pm \Delta F_{k.п.}$.

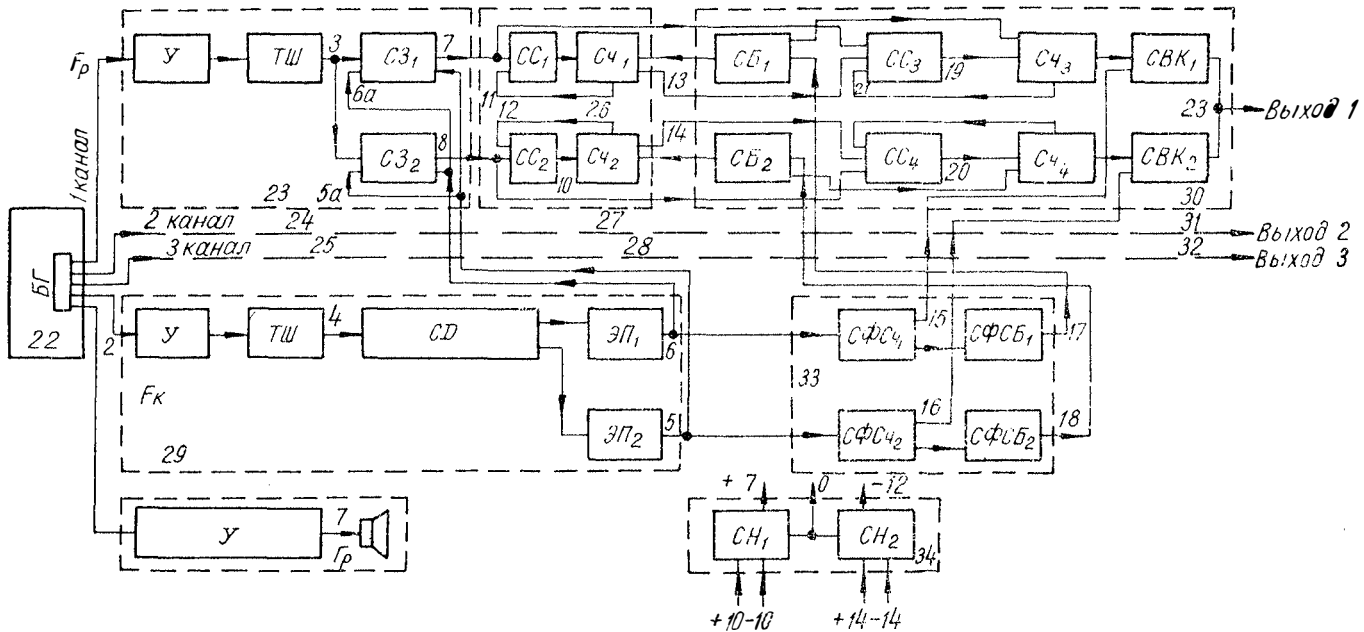


Рис. 1. Структурная схема устройства воспроизведения КМЗ-2К

При неравенстве F_p и F_k относительные изменения этих частот будут равны, т. е.

$$\frac{\pm \Delta F_{p.п}}{F_p} = \frac{\pm \Delta F_{k.п}}{F_k}.$$

Исходя из этих предпосылок, ниже показана возможность исключения из полученного кода погрешности, обусловленной неравномерностями скорости ленты.

При регистрации процесса на магнитную ленту при частотно-импульсной модуляции по рабочему каналу за время t будет зарегистрировано N_p импульсов на длине ленты L :

$$N_p = F_{p.ср} t, \quad (1)$$

где $F_{p.ср}$ — среднее значение частоты по рабочему каналу.

Так как $t = \frac{L}{v}$, то уравнение (1) можно записать:

$$N_p = F_{p.ср} \frac{L}{v_3}. \quad (2)$$

По каналу компенсации за время t будет записано N_k импульсов на той же длине ленты L

$$N_k = F_k t, \text{ или } N_k = F_k \frac{L}{v_3}, \quad (3)$$

где F_k — частота стабильного генератора.

В уравнениях (2) и (3) отношение $\frac{L}{v_3}$ остается постоянным при любых изменениях v_3 для любого, наперед заданного, отрезка времени t . Отношение числа импульсов, зарегистрированных по рабочему каналу, к числу импульсов, зарегистрированных по каналу компенсации, определяется следующим выражением:

$$\frac{N_p}{N_k} = \frac{F_{p.ср}}{F_k},$$

т. е. отношение $\frac{N_p}{N_k}$ не зависит от скорости движения ленты при записи и ее изменений.

При воспроизведении сигнала, зарегистрированного на магнитной ленте, с любой скоростью движения носителя по рабочему каналу будет воспроизведено $N_{p.в}$ импульсов

$$N_{p.в} = F_{p.в.ср} \frac{L}{v_в},$$

по каналу компенсации

$$N_{k.в} = F_{k.в} \frac{L}{v_в}.$$

Как и при записи, отношение $\frac{N_{p,в}}{N_{к,в}}$ не зависит от скорости движения ленты и ее изменений

$$\frac{N_{p,в}}{N_{к,в}} = \frac{F_{p,в.ср}}{F_{к,в}}$$

Так как в предложенной системе преобразования частоты в код значение кодовой группы есть отношение $\frac{N_{p,в}}{N_{к,в}}$, то налагая условие, что $N_{к,в} = N_k$, т. е. формируя на воспроизведении временный интервал из N_k импульсов, можно получить выражение для числа импульсов в кодовой группе

$$N_p = \frac{N_k}{F_{к,в}} F_{p,в.ср},$$

т. е. полученный код не содержит ошибок, обусловленных изменениями скорости движения ленты, а время формирования кодовой группы будет равно

$$t_в = \frac{N_k}{F_{к,в}}.$$

В общем виде приведенный выше вывод можно выразить так: число импульсов, зарегистрированных на ленту по рабочему каналу, равно

$$N_p = \int_0^t F_p(t) dt;$$

число импульсов, зарегистрированных по каналу компенсации,

$$N_k = F_k t.$$

При воспроизведении, заменяя верхний предел интегрирования, т. е. выражая время интегрирования через N_k и $F_{к,в}$, по рабочему каналу за время $t_в$ будет воспроизведено

$$N_p = \int_0^{t_в} F_{p,в}(t) dt$$

импульсов, т. е. кодовая группа не содержит ошибок, вызванных изменениями скорости, и выражает интегральное (осредненное) значение зарегистрированного процесса на отрезке времени от 0 до $\frac{N_k}{F_{к,в}}$.

Из изложенного видно, что время записи t и время воспроизведения $t_в$ участка ленты длиной L не равны, т. е. в воспроизведенном процессе появляются искажения временного масштаба. Эти искажения обусловлены неравномерностями в скорости движе-

ния ленты. При обработке воспроизведенного процесса на амплитудных анализаторах указанные искажения в большинстве случаев не играют роли, ими можно пренебречь. При спектральном анализе величина допустимых временных искажений определяется разрешающей способностью спектральных анализаторов (в основном, шириной полосы фильтров), следовательно, необходима оценка величины временных искажений, вносимых в воспроизведенный процесс устройствами записи и воспроизведения.

В работе [2] получено выражение для величины временной ошибки в воспроизведенном сигнале при условии изменения скорости движения носителя по гармоническому закону

$$\Delta T = \frac{2\gamma}{\pi F} \sin \pi F (2t_0 + \tau) \sin \pi F \tau, \quad (4)$$

где γ — коэффициент нестабильности скорости;

F — частота колебаний скорости;

τ — время, в течение которого накапливаются искажения временного масштаба;

t_0 — текущее значение времени.

В рассматриваемом случае временные искажения накапливаются за время $T_{вр}$, т. е. за период формирования кодовой группы. Следовательно, в выражении (4) τ может быть заменено $T_{вр}$. Максимальное значение временного сдвига будет

$$\Delta T_{\max} = \frac{2\gamma}{\pi F} \sin \pi F T_{вр}.$$

Частота колебаний скорости F , при которой ΔT достигает предельной величины, может быть определена из условия

$$\sin \pi F T_{вр} = 1.$$

Решая уравнения относительно F , получим

$$F_{\text{экт}} = \frac{1}{2T_{вр}}. \quad (5)$$

С учетом (5) предельная величина временного сдвига будет равна

$$\Delta T_{\max} = \frac{4\gamma T_{вр}}{\pi}.$$

Информационная емкость системы записи с ЧИМ, выраженная линейной плотностью (по частоте рабочего процесса), равна

$$\Pi_{\text{ЧИМ}} = \frac{F_0}{vN} \text{ Гц/см},$$

где F_0 — нулевая частота в Гц/см;

v — скорость ленты в см/сек;

N — число периодов нулевой частоты на один период рабочей частоты.

Информационная емкость предложенной системы магнитной записи при воспроизведении частотно-модулированного сигнала в кодовой форме может быть оценена по следующему выражению для линейной плотности (по частоте рабочего процесса):

$$P_{\text{ЧИМК}} = \frac{F_0}{vN2^n} \Gamma_{\text{ц/см}},$$

где F_0 — нулевая частота при записи с ЧИМ;

v — скорость ленты в см/сек;

N — число опросов на период сигнала рабочей частоты;

n — число разрядов двоичного кода.

Отношение линейных плотностей для ЧИМ записи и для ЧИМ записи с преобразованием в код равно

$$\frac{P_{\text{ЧИМ}}}{P_{\text{ЧИМК}}} = 2^n,$$

т. е. при преобразовании ЧИМ записи в код линейная плотность по частоте рабочего процесса снижается в 2^n раза.

При описанном выше методе преобразования частоты в код выполняется условие получения кода, не искаженного непостоянством скорости ленты, и сохраняется возможность воспроизведения записей в аналоговой форме.

Предложенная схема преобразования сигнала с ЧИМ в код позволяет применять при записи блоки с частотно-импульсной модуляцией, что значительно упрощает устройство записи. Выбор типа воспроизведения будет обусловлен условиями работы магнитографа во время записи и типом устройства, применяемого для обработки записей.

На основе рассмотренного метода было разработано устройство воспроизведения, преобразующее запись с ЧИМ в кодовую форму с исключением искажений, вызванных неравномерностями скоростей движения ленты.

Двоичный код должен формироваться из сигнала рабочего канала со средней частотой F_p при девиации $\pm \Delta F_p$, а временный интервал должен формироваться из стабильной частоты F_k , воспроизведенной с дорожки компенсации. Средние частоты рабочих каналов и канала компенсации равны, следовательно, для того чтобы заполнить временный интервал, сформированный из F_k импульсами F_p , необходимо или умножить частоту F_p , или разделить частоту F_k . Схемы деления частоты осуществляются проще, чем схемы умножения, поэтому была принята схема деления частоты F_k — узел СД на структурной схеме устройства воспроизведения с выходом в кодовой форме (см. рис. 1). Необходимая длительность временного интервала определяется принятыми F_p и разрядностью кода n .

При работе в двоичном коде на схему формирования кода должно поступать от нуля до 2^n рабочих импульсов за один такт при изменении ΔF_p от min до max . Частотно-модулированный сигнал

рабочего канала состоит из неизменной части, отображаемой величиной $F_p - \Delta F_p$, и переменной части, отображаемой величиной $2\Delta F_p$. В данном случае величина $2\Delta F_p$ должна отображаться числом импульсов 2^n . При принятых величинах F_p и ΔF_p максимальное число кодовых групп N , формируемых в секунду (частота кодовых групп), равно

$$N = \frac{F_{p,0} \left(1 + \frac{\Delta F_p}{F_{p,0}} \right) 2 \frac{\Delta F_p}{F_{p,0}}}{2^n \left(1 + \frac{\Delta F_p}{F_{p,0}} \right)} = \frac{\Delta F_p}{2^{n-1}}.$$

При принятой частоте F_k коэффициент деления узла CD должен быть равен

$$\bar{D} = \frac{F_k}{N},$$

а период временного интервала $T_{вр}$ должен быть равен

$$T_{вр} = T_k D.$$

Надежную работу последующих узлов устройства можно обеспечить только при выдаче кодовых групп с временными интервалами между группами. Интервалы необходимы для считывания кода, сброса схем формирования и других промежуточных операций. Чтобы избежать снижения частоты выдачи кода, в схему устройства введены две параллельные ветви формирования кодовых групп, работающих поочередно (на структурной схеме рис. 1 ветвь с индексом 1 и ветвь с индексом 2). В связи с этим коэффициент деления узла CD повышен до $2D$, а период временного интервала увеличен до $2T_{вр}$. В схемах заполнения ($C3$) заполняются импульсами частоты F_p полупериоды временного интервала, сформированные на выходе схемы CD . Схемы с индексами 1 и 2 работают поочередно в течение полупериода временного интервала, равного $2T_{вр}$. Следовательно, выдача кодовых групп производится через интервалы равные $T_{вр}$.

Выше было сказано, что частотно-модулированный сигнал состоит из неизменной части, не несущей полезной информации, и переменной части, отображающей полезную информацию. Целесообразно формировать код только из полезной части сигнала, что позволит избежать передачи избыточной информации в устройства обработки. Следовательно, в устройствах формирования кода C_4 (см. рис. 1) необходимо обеспечить в каждом такте вычитание из общего числа импульсов в серии постоянной величины из C импульсов, отображающей неизменяемую часть сигнала. При формировании кода со скоростью N групп/сек и принятых F_p и ΔF_p число импульсов в серии равно следующей величине:

$$\frac{F_p + \Delta F_p}{N}.$$

Следовательно, постоянная C будет равна

$$C = \frac{F_p + \Delta F_p}{N} - 2^n.$$

Для осуществления указанной операции схемы формирования кода C_4 необходимо построить из двух двоичных счетчиков, связанных логическими схемами. Первый счетчик должен иметь емкость равную C , а второй счетчик — 2^n импульсов.

Обеспечить формирование 100 кодовых групп в секунду (согласно техусловиям) возможно при

$$F_p = 4000 \text{ Гц, а } \Delta F_p = \pm 40\% .$$

При указанных выше величинах F_p и ΔF_p число кодовых групп, формируемых в секунду, равно

$$N = \frac{1600}{2^5 - 1} = 100.$$

Коэффициент деления узла D будет

$$D = \frac{4000}{100} = 40.$$

Период временного интервала — 10 мсек.

Согласно приведенным выше соображениям коэффициент деления увеличен до 80 и временный интервал до 20 мсек. При заполнении полупериодов выдача кодовых групп будет происходить через 10 мсек.

Число импульсов в серии равно $\frac{4000 + 1600}{100} = 56$, а постоянная C будет

$$C = 56 - 2^5 = 24 \text{ импульса.}$$

На основе структурной схемы рис. 1 был разработан и изготовлен макет устройства воспроизведения с выходом в кодовой форме (рис. 2). Испытания макета полностью подтвердили теоретические предпосылки, положенные в основу работы.

Ниже приведены некоторые результаты испытаний макета.

Правильность формирования выходного кода при линейном изменении частоты рабочих каналов характеризуется табл. 1.

Из табл. 1 видно, что приращение входного сигнала, выраженное на выходе в кодовой форме, пропорционально линейному изменению частоты в пределах девиации $\pm 30\%$ и ошибка не превосходит ± 1 последнего знака.

Правильность формирования выходного кода при одновременном изменении частоты по всем каналам (исключение ошибки за счет изменения скорости ленты) характеризуется табл. 2.

Из табл. 2 видно, что при одновременном изменении частоты по всем каналам на выходе формируются одинаковые значения кода,

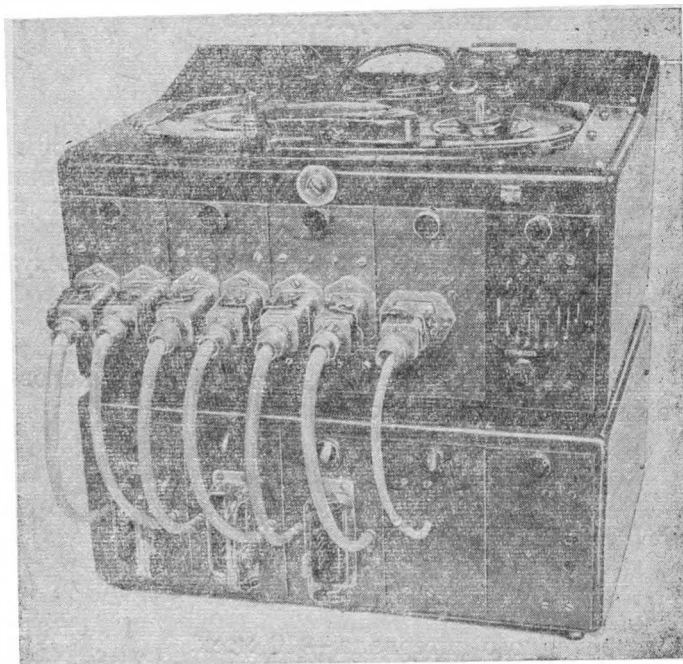


Рис. 2. Устройство воспроизведения КМЗ-2К

Таблица 1

Частота на входе рабочего канала	Считанный код 1-го канала		Считанный код 2-го канала		Считанный код 3-го канала	
	1-е исп.	2-е исп.	1-е исп.	2-е исп.	1-е исп.	2-е исп.
2800	00101	00110	00110	00110	00110	00111
3000	00111	01000	01000	01000	01000	01001
3200	01010	01010	01010	01010	01010	01010
3400	01100	01100	01100	01100	01100	01100
3600	01110	01111	01111	01111	01110	01111
3800	10000	10001	10000	10000	10000	10001
4000	10010	10011	10011	10011	10010	10011
4200	10100	10100	10100	10100	10100	10100
4400	10110	10101	10110	10110	10110	10110
4600	11000	11001	11001	11001	11001	11001
4800	11001	11010	11010	11010	11010	11010
5000	11100	11100	11101	11100	11100	11100
5200	11110	11110	11111	11110	11110	11110

Таблица 2

Частота на входе всех каналов	Считанный код 1-го канала		Считанный код 2-го канала		Считанный код 3-го канала	
	1-е исп.	2-е исп.	1-е исп.	2-е исп.	1-е исп.	2-е исп.
4000	10011	10010	10011	10011	16010	10010
5200	10010	10010	10011	10010	10010	10010
2800	10010	10010	10010	10010	10010	10010

соответствующие «нулевой» частоте. Следовательно, система воспроизведения обеспечивает получение кода, не искаженного изменениями скорости ленты, в пределах $\pm 30\%$ от номинала, при ошибке ± 1 последнего знака.

В заключение были произведены испытания всего тракта записи — воспроизведение с выходом в кодовой форме. При этом на ленту были записаны частоты, соответствующие девиации $\pm 30\%$. Указанная запись воспроизводилась, и с выходов схем выдачи кода снимались кодовые группы, соответствующие указанной девиации. Затем воспроизведение повторялось при повышенной и пониженной скорости движения ленты.

Результаты испытаний приведены в табл. 3.

Таблица 3

Величина девиации, %	Скорость движения ленты, v , мм/сек		
	190	135	245
0	10001	10001	10010
+30	11101	11100	11110
-30	00110	00101	00110

Из результатов этих испытаний видно, что изменение скорости движения ленты на $\pm 30\%$ не вызывает изменения выходного кода более чем на ± 1 последнего знака.

Разработанная структурная схема и макет устройства воспроизведения с выходом в кодовой форме обеспечивают получение пятиразрядного двончного кода, отображающего зарегистрированный процесс. Сформированный на выходе устройства код не содержит погрешностей, обусловленных неравномерностями скорости движения ленты. Разработанная схема преобразования частоты в код сохраняет многоканальность магнитографа, возможность воспроизведения записей в аналоговой форме, позволяет непосредственно вводить воспроизведенный процесс в вычислительную машину без дополнительных преобразований или изготовления перфолент.

Верхняя рабочая частота процессов, воспроизводимых в кодовой форме, не должна превышать 20 Гц, что обусловлено тактовой частотой системы (частотой следования временных интервалов), которая составляет 100 Гц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вильперт К. И. Автоматизация статистических исследований, напряжений и усилий в деталях машин и конструкций. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук. М., 1965.
2. Догадов А. А., Кульгачев А. Г. Об оценке искажений временного масштаба, вносимых транспортирующим механизмом при консервации сигналов. «Радиотехника», 1965, № 8.
3. «Труды НАМИ», Приборы и методы статистического анализа для исследования автомобилей, вып. 90. М., 1967.

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗАТОР АСУ-3

В работах [1; 2; 3; 4; 5; 9] рассмотрены методы амплитудного анализа случайных процессов, применяемые при исследованиях автомобилей, и описан ряд анализаторов, применяемых для обработки реализаций различной длительности. Из приведенных в работах данных видно, что большинство анализаторов является узкоспециализированными приборами, работающими по одному или в некоторых случаях по двум методам. Многие анализаторы имеют сетевое питание (220 в, 50 Гц) и непригодны для прямого применения на автомобиле.

При исследовании автомобилей с применением статистических методов решается широкий круг задач и в зависимости от типа исследуемого процесса требуется применение различных методов обработки этого процесса. Во многих случаях требуется получение данных непосредственно в процессе испытаний, что выполнимо только при применении возимых анализаторов с питанием от аккумуляторов. В связи с этим возникает задача создания универсального амплитудного анализатора, пригодного для обработки случайных процессов любым из известных методов. Анализатор должен быть пригоден как для обработки магнитных записей в лабораторных условиях, так и для применения непосредственно на автомобиле.

Опыт многолетней эксплуатации ряда анализаторов, разработанных в НАМИ, анализаторов фирм Оно и Шенк (при этом учитывались параметры магнитографов, применяемых при исследовании автомобилей, результаты исследований условий работы приборов на автомобиле) позволил выработать технические требования на универсальный амплитудный анализатор АСУ-3:

1) число обрабатываемых процессов	один
2) диапазон рабочих частот	0—500 Гц
3) длительность работы (до заполнения счетчиков)	не менее 30 мин
4) длительность непрерывной работы	8 ч
5) потребляемая мощность	не более 25 Вт
6) вес анализатора	не более 25 кг
7) входное напряжение	± 1 в или двоичный код с амплитудой импульса 5 в
8) методы обработки	метод случайных ординат, метод пересечений, метод экстремальных значений, метод корреляционной таблицы, метод полных циклов
9) число уровней анализа	12—16
10) внешние условия: допустимые ускорения, действующие на анализатор рабочие температуры	2g в диапазоне частот 0—15 Гц —10÷+35°C

Анализатор, имеющий указанные выше основные параметры, будет пригоден для работы как на автомобиле в комплекте с наиболее распространенными тензоусилителями (тензоусилители на ненагруженном выходе развивают напряжение около 1 в), так и для обработки магнитных записей в лабораторных условиях.

Практика применения анализаторов для прямой обработки процессов на автомобилях при экспресс-испытаниях показала, что в этих случаях используются только простейшие методы обработки: метод случайных ординат, метод пересечений и реже — метод экстремальных значений.

В связи с изложенным было признано целесообразным создать анализатор в виде основного блока, работающего по первым четырем методам, а для работы по методу корреляционной таблицы и методу полных циклов иметь приставки, обеспечивающие обработку процессов этими методами. Обработка процессов по методу корреляционной таблицы может выполняться только в лабораторных условиях, так как габариты приставки исключают ее применение на автомобиле.

Основные принципы построения универсального анализатора

Амплитудный анализатор, работающий по любому методу, должен иметь входное устройство, в котором производится квантование входного сигнала по уровню. Анализатор АСУ-3 должен работать от аналогового и дискретного входных сигналов. В связи с этим он должен иметь два типа входных устройств:

а) набор амплитудных дискриминаторов для работы от аналогового сигнала;

б) диодный распределитель (матрицу) для преобразования пятиразрядного двоичного кода в последовательность импульсов, распределенных по уровням анализа.

На структурной схеме анализатора АСУ-3 (рис. 1) входное устройство обозначено цифрой 2 независимо от его типа. Вход анализатора обозначен цифрой 1.

При работе анализатора с дискретным входным устройством необходим блок, который бы отображал и запоминал в течение одного периода входного сигнала динамику анализируемого процесса. Для этого в анализатор вводится блок триггеров динамической памяти (на схемах блок 6). Применяя в блоке 6 насыщенные триггеры, можно тем самым обеспечить надежную работу последующих схем анализатора, так как перепад напряжений на выходе триггеров 6 будет равен $U_{пит}$. Указанные выше блоки являются общими при всех методах работы анализатора.

Метод пересечений. При работе анализатора по этому методу один из счетчиков анализатора должен срабатывать каждый раз при превышении входным сигналом уровня анализа, соответствующего этому счетчику. Следовательно, подключение счетчиков к триггерам 6 обеспечит работу анализатора этим методом.

На рис. 1 счетчики обозначены цифрами 15. В схему дополнительно введены блоки 13 и 14: блок 13 — дифференцирующие схемы, блок 14 — схемы совпадений на два входа (в данном случае на вторые входы схем совпадений подается отрицательный потенциал). Указанный блок необходимо ввести в схему в целях упрощения системы коммутации при различных методах анализа и обеспечения работы анализатора другими методами.

Метод случайных ординат. При этом методе анализа входной сигнал необходимо превратить в импульсную форму и считать число импульсов, поступающих на счетчик при превышении входным сигналом уровня анализа, соответствующего этому счетчику. Для обеспечения работы анализатора указанным методом в схему необходимо ввести импульсный генератор 17 и импульсный модулятор, что в данном случае обеспечат схемы совпадений 14.

При подаче на общий вход схем совпадений импульсов с генератора 17, а с выходов триггеров 6 — разрешающих отрицательных потенциалов (что определяется уровнем входного сигнала) на выходах схем совпадений (следовательно, и на счетчиках 15) получим серии импульсов. При этом счет числа импульсов ведется интегральным методом.

Метод размахов без учета асимметрии. При этом методе каждый счетчик должен считать число размахов определенной величины, имевших место за время анализа. Счет размахов ведется независимо от их положения относительно уровня, принятого за нулевой. Следовательно, счетчики закрепляются не за уровнями анализа, в данном случае номер счетчика соответствует величине размаха.

Для обеспечения работы анализатора данным методом в схему введены логические схемы «ИЛИ» — 7₁ и 7₂, счетчик числа импульсов 9, диодный распределитель 10, схема сброса 11.

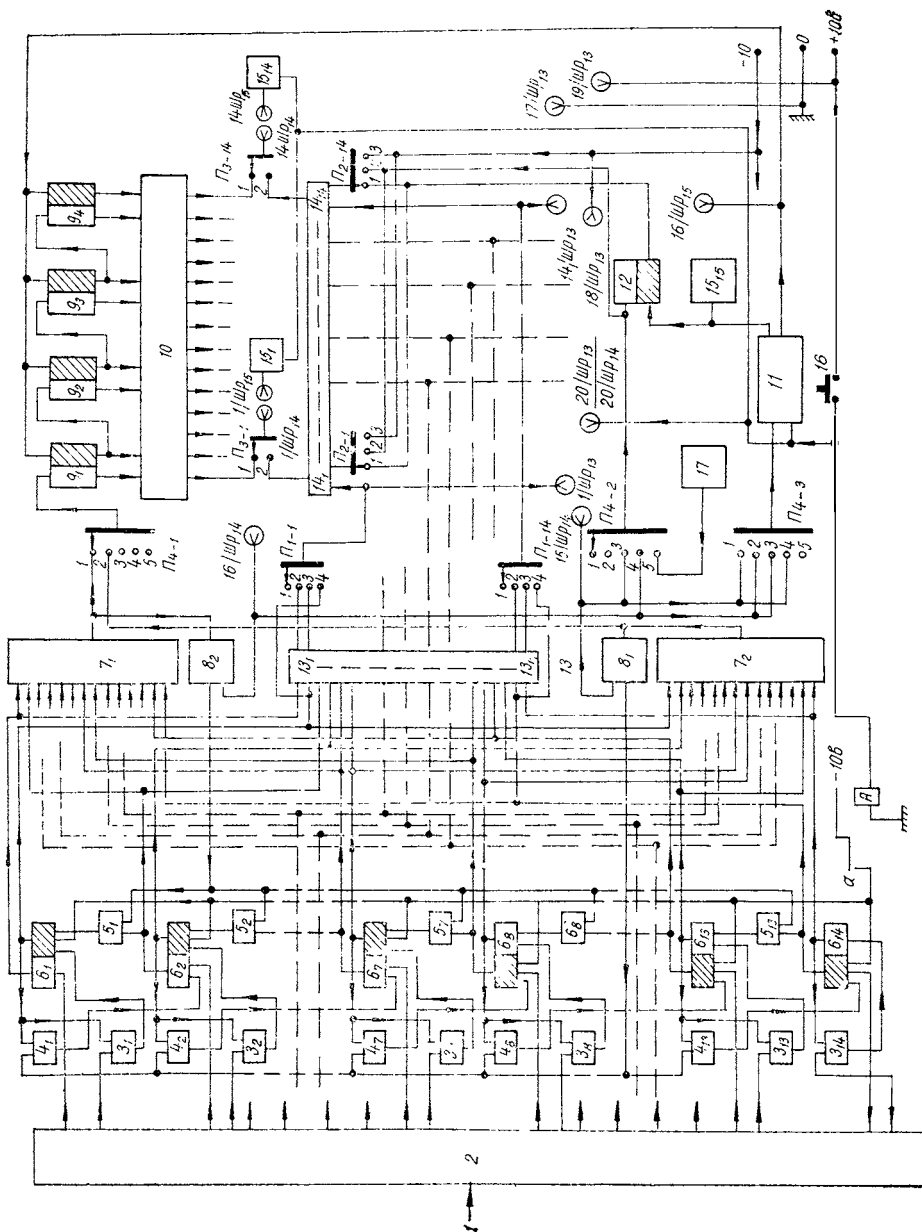


Рис. 1. Структурная схема анализатора АСУ-3

При изменении амплитуды входного сигнала будет происходить последовательный перебор триггеров 6. Число переброшенных триггеров определяется величиной изменения амплитуды сигнала от одной экстремальной точки до другой, т. е. величиной размаха. Из положительных фронтов переброса триггеров 6 логическая схема «ИЛИ» — 7₁ должна выделить остроконечные импульсы. Число импульсов на выходе схемы 7₁ зависит от числа переброшенных триггеров, т. е. от величины размаха.

Импульсы с выхода схемы 7₁ поступят на счетчик 9. На счетчик может поступить максимум n импульсов, где n — число уровней анализа (или число триггеров 6), следовательно, счетчик 9 должен иметь n возможных состояний. В зависимости от числа импульсов, поступивших на счетчик 9, определяется и номер механического счетчика 15, сосчитавшего размах. На счетчики 15 импульсы поступят через диодный распределитель 10 с числом выходов, равным n .

Сброс счетчика 9 после счета очередного размаха должен осуществляться импульсом сброса, сформированным из первого остроконечного импульса, полученного на выходе схемы 7₂. Логическая схема «ИЛИ» — 7₂ должна формировать остроконечные импульсы из отрицательных фронтов переброса триггеров 6. Формирование импульса сброса должно осуществляться с задержкой относительно момента появления импульса на выходе схемы «ИЛИ» — 7₂. Задержку и формирование импульса сброса осуществляет схема «И1». Величина времени задержки должна быть не более чем $\frac{T_{\min}}{2}$,

где T_{\min} — длительность периода верхнего предела частоты анализируемого процесса.

Метод экстремальных значений. При работе анализатора по этому методу один из счетчиков анализатора должен срабатывать каждый раз при изменении знака приращения входным сигналом. Номер сработавшего счетчика определяется номерами уровней анализа, между которыми произошло изменение знака приращения. Следовательно, в анализаторе необходима схема определения знака приращения входного сигнала.

В схему введен триггер экстремальных точек 12. Задача счета пиков (или \min) в данном случае решается так. При возрастании входного сигнала первый импульс, выданный схемой «ИЛИ» — 7₁, переведет триггер 12 во второе состояние и на схему совпадений 14 будет подан отрицательный потенциал. При изменении знака приращения выходного сигнала схема 13 выдаст первый отрицательный импульс на схему 14. Схема 13 формирует импульсы из перепадов напряжений триггеров 6. Импульс со схемы 13 пройдет через схему 14 и поступит на соответствующий счетчик. Схема «ИЛИ» — 7₂ из указанного перепада также сформирует первый импульс, он поступит на схему сброса 11 и с задержкой τ сек поступит на триггер 12. Триггер 12 перейдет в первое состояние. Второй и последующий импульсы, сформированные схемой 13, на счетчики не пройдут.

От правильного выбора времени задержки импульса в схеме 11 зависит надежность работы анализатора методом экстремальных значений. Максимально возможное время задержки определяется в зависимости от принятого верхнего предела частоты анализируемого процесса. Минимально возможное время задержки определяется временем задержки счетного импульса в схемах 13 и 14, т. е. зависит от постоянных времени этих схем.

В данном случае время задержки необходимо выбрать максимально возможным, так как определить точно постоянные времени схем 13 и 14 и цепей, связанных с ними, сложно из-за паразитных емкостей. Максимальное время задержки определяется по минимальному времени пребывания анализируемого сигнала между двумя уровнями анализа, его можно найти из соотношения [2]

$$\tau_{\max} \leq \frac{1}{2\pi F_{\max}} \arcsin \frac{2}{n-1} \text{ сек},$$

где F_{\max} — максимальная частота рабочего процесса;
 n — число уровней анализа.

При этом предполагается, что амплитуда анализируемого сигнала максимальна. При других методах анализа допустимо время задержки $\frac{T}{2}$, следовательно, и в этих случаях будет обеспечена работа анализатора.

Метод корреляционной таблицы (метод размахов с учетом асимметрии). При этом методе каждый счетчик должен считать число размахов определенной величины, учитывая их асимметрию. В связи с этим число счетчиков определяется количеством сочетаний по два из числа уровней анализа n . При условии счета размахов разных знаков, но равной величины и асимметрии на одном и том же счетчике необходимое число счетчиков определяется соотношением

$$N = \frac{n(n-1)}{2}.$$

Узлы анализатора, необходимые для определения величины размаха, были описаны выше. Следовательно, к структурной схеме, приведенной на рис. 1, необходимо добавить узел, обеспечивающий учет асимметрии размаха. В качестве такого узла выбран набор схем совпадений с двумя входами каждая, к выходам схем совпадений присоединяются счетчики.

Структурная схема приставки для работы по методу корреляционной таблицы приведена на рис. 2. В данном случае с выходов диодного распределителя 10 отрицательные потенциалы подаются на вертикальные шины матрицы схем совпадений. Число вертикальных рядов, на которые подан отрицательный потенциал, зависит от величины размаха, т. е. от числа импульсов, поступивших на счетчик 9. Импульсы, сформированные схемами 13, из тех же

перепадов, что и импульсы, поступившие на счетчик 9, поступают на горизонтальные шины матрицы схем совпадений. При данных условиях выходные импульсы могут появиться на выходах только тех схем совпадений, которые получили сигналы по обоим входам.

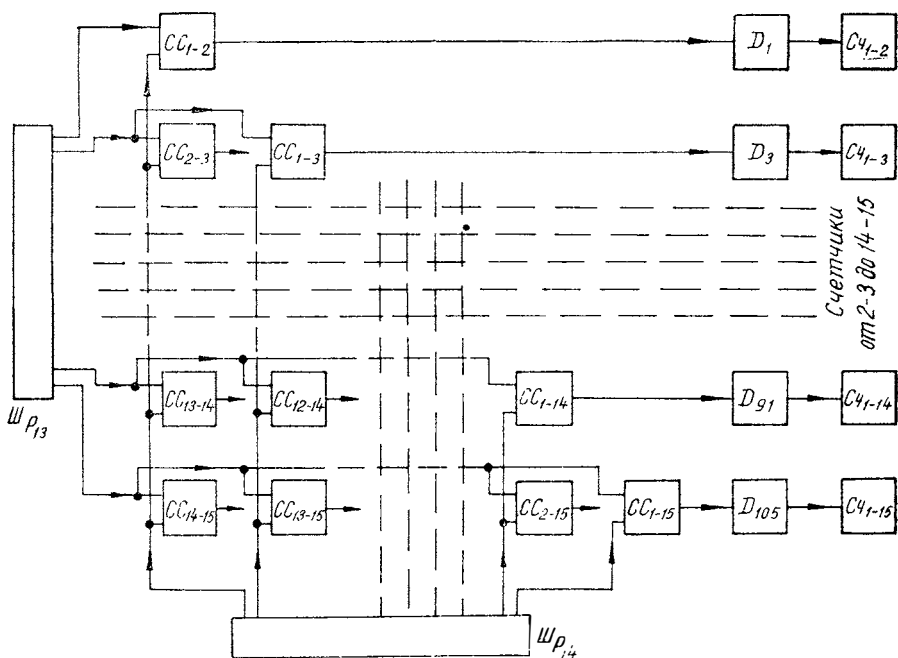


Рис. 2. Структурная схема приставки для работы по методу корреляционной таблицы

Импульсы, поступившие со схем 13 на горизонтальные шины, определяют асимметрию размаха. Сброс счетчика 9 происходит от импульса, сформированного схемой 11 от первого обратного перебора триггеров 6. Величина задержки не должна превышать $\frac{T_{\min}}{2}$.

Метод полных циклов (парных размахов). При этом методе необходимо из серий импульсов, появившихся на выходах схем «ИЛИ» — 7₁ и 7₂, сформировать на соответствующих схемах полный цикл (парный размах). Серия импульсов на выходе схемы «ИЛИ» — 7₁ отображает положительный размах цикла входного сигнала, на выходе схемы «ИЛИ» — 7₂ — отрицательный размах цикла. Формирование полного цикла можно осуществить на триггерах долговременной памяти, объединенных в общую схему схем совпадений.

Структурная схема приставки для работы по методу полных циклов приведена на рис. 3.

Триггеры $Tr_1 - Tr_n$ образуют последовательную цепочку, объединенную двумя рядами схем совпадений. Последовательность из n импульсов со схемы «ИЛИ» — 7_1 вызывает перебор n триггеров, начиная с первого. При изменении знака приращения входного

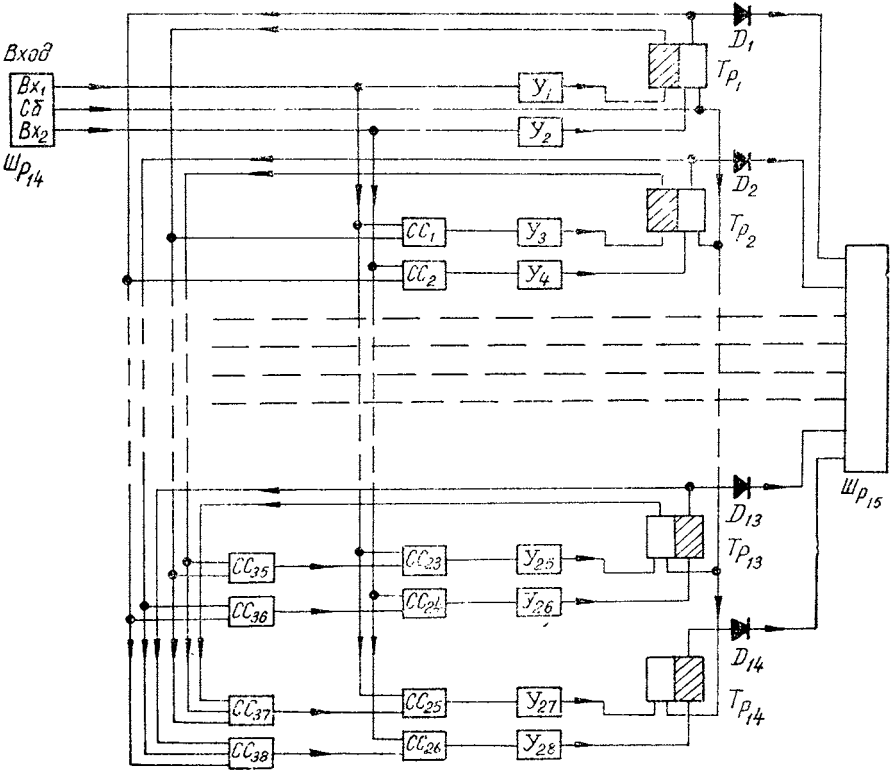


Рис. 3. Структурная схема приставки для работы по методу парных размахов

сигнала начинается обратный перебор триггеров, начиная с первого, число переброшенных триггеров равно числу импульсов, поступивших со второй схемы «ИЛИ» — 7_2 . Число триггеров, переброшенных в исходное состояние, дает величину полного цикла.

Триггеры, оставшиеся во втором состоянии, запомнят максимальную величину прямого размаха. Полный цикл этой величины будет сосчитан только в том случае, если появится обратный размах такой же величины.

Так как перебор триггеров происходит последовательно, то счет полных циклов будет вестись по интегральному закону. Для получения истинного числа полных циклов необходимо из показаний старшего счетчика вычесть показания младшего.

Принципиальные электрические схемы анализатора и результаты испытаний

Основные принципиальные электрические схемы анализатора АСУ-3 приведены на рис. 4—7. При разработке принципиальных схем анализатора было обращено особое внимание на отработку входного усилителя и амплитудного дискриминатора входного устройства, так как эти узлы определяют основные метрологические характеристики аналоговых анализаторов, т. е. временные и температурные дрейфы.

Схема усилителя приведена на рис. 4. Усилитель выполнен по дифференциальной схеме с регулировкой усиления в цепи обратной связи, коэффициент усиления 1—100, при выходном сигнале до +5 в.

В усилителе используются кремниевые транзисторы.

Амплитудные дискриминаторы выполнены по схеме сложного триггера с положительной обратной связью (см. рис. 6). Разработанная схема позволяет получить на выходах дискриминатора перепады напряжения с фронтами постоянной длительности независимо от частоты входного сигнала, что обеспечивает надежную работу последующих узлов анализатора. Дискриминатор выполнен на кремниевых транзисторах.

Схемы остальных узлов анализатора состоят из типовых радиотехнических элементов: триггеров, одновибраторов, мультивибраторов, диодных схем совпадений, диодных схем «ИЛИ», дифференцирующих схем, диодных распределителей, усилителей мощности.

Выше были приведены условия определения времени задержки импульса сброса триггера выбора экстремальных точек. В конкретной схеме время задержки выбрано исходя из следующих условий: $n=14$; $F_{\max}=500$ Гц, при этих условиях время задержки не может быть больше 40 мксек. В схеме задержки время задержки составляет около 40 мксек. Указанное время задержки необходимо для работы анализатора по методу экстремальных значений.

При других методах работы время задержки может быть больше и достигать $\frac{T}{2}$, т. е. 1 мсек при $F_{\max}=500$ Гц. Следовательно, время задержки в 40 мксек обеспечит правильную работу анализатора при любом методе анализа.

При испытаниях анализатора был проведен ряд обработок процессов с известной формой и частотой входного сигнала.

Определялась правильность работы как отдельных узлов, так и анализатора в целом различными методами.

При испытаниях были выполнены следующие обработки.

1) Две обработки синусоидального процесса методом пересечений.

Частота процесса 11,91 Гц, время обработки 20 мин.

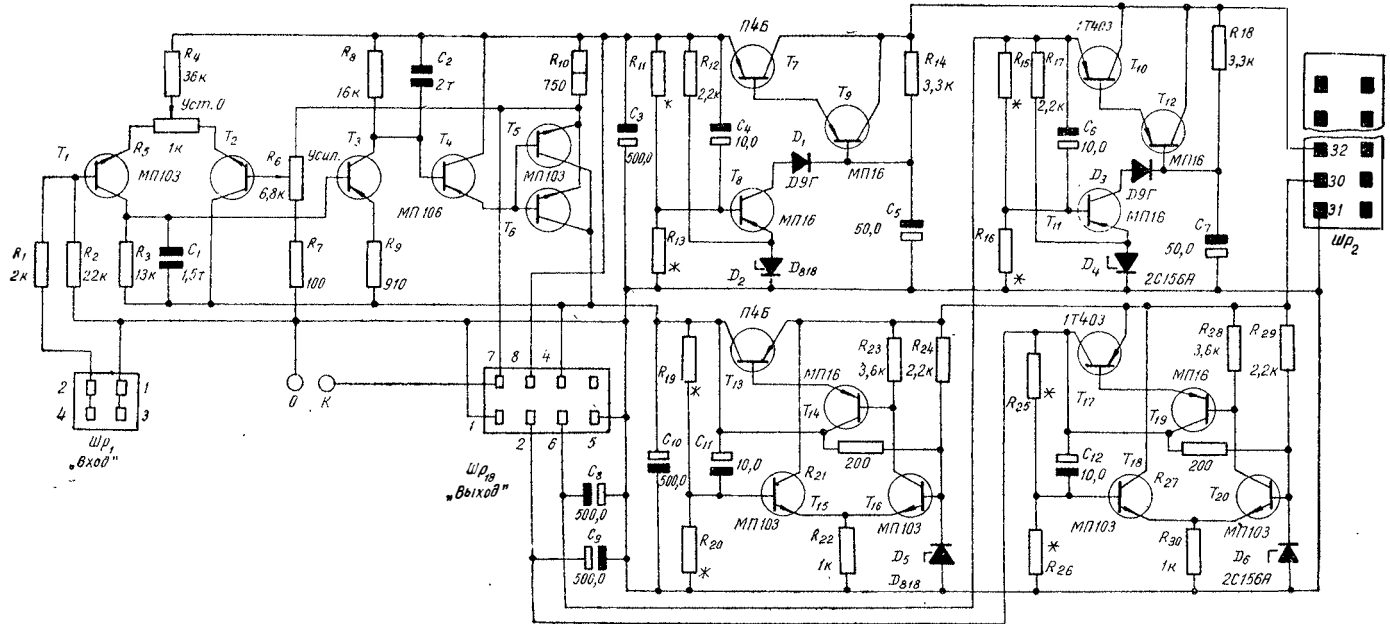


Рис. 4. Схема входного усилителя и стабилизатора питания дискриминаторов

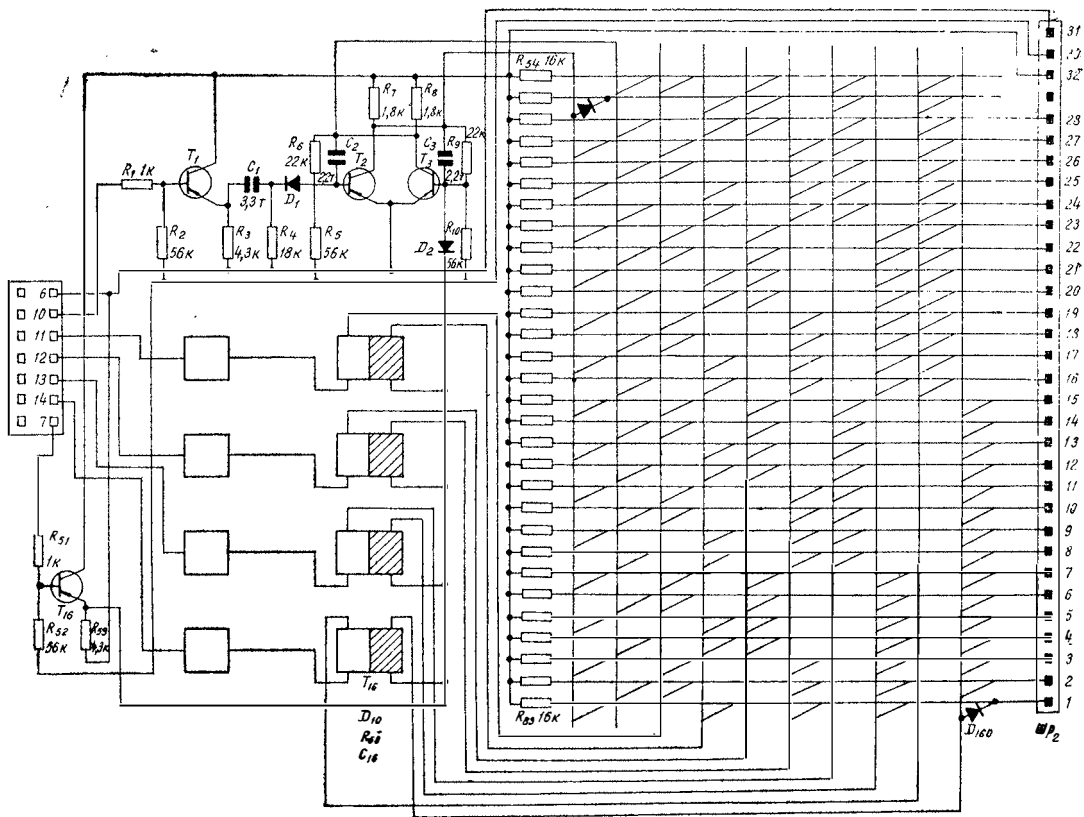


Рис. 5. Схема входного блока для двоичного кода

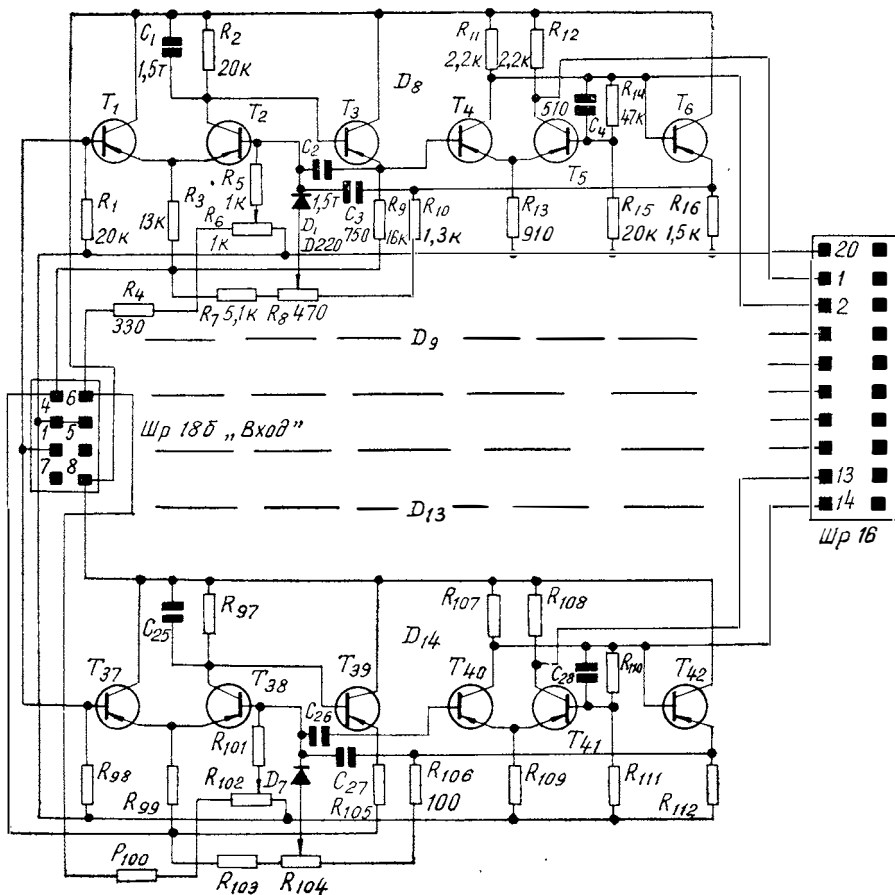


Рис. 6. Схема амплитудных дискриминаторов

Результаты обработки приведены в табл. 1, колонки 2, 3. Максимальное расхождение между показаниями счетчиков 0,2%. Разница между суммой канальных счетчиков и общим счетчиком 0,01%. Разница между теоретическим числом импульсов и сосчитанным 0,05%.

2) Две обработки синусоидального процесса с переменной амплитудой методом пересечений. Процесс получен при биениях двух сигналов с частотами $f_1 = 17,83$ и $f_2 = 17,02$ Гц. При этом считаемая частота будет равна 17,425 Гц. Время обработки 10 мин. Результаты обработки приведены в табл. 1, колонки 4, 5. Максимальное расхождение между показаниями канальных счетчиков из двух обработок около 2%.

Разница между суммой канальных счетчиков и общим счетчиком 0,6%. Расхождение между двумя обработками в 2% опреде-

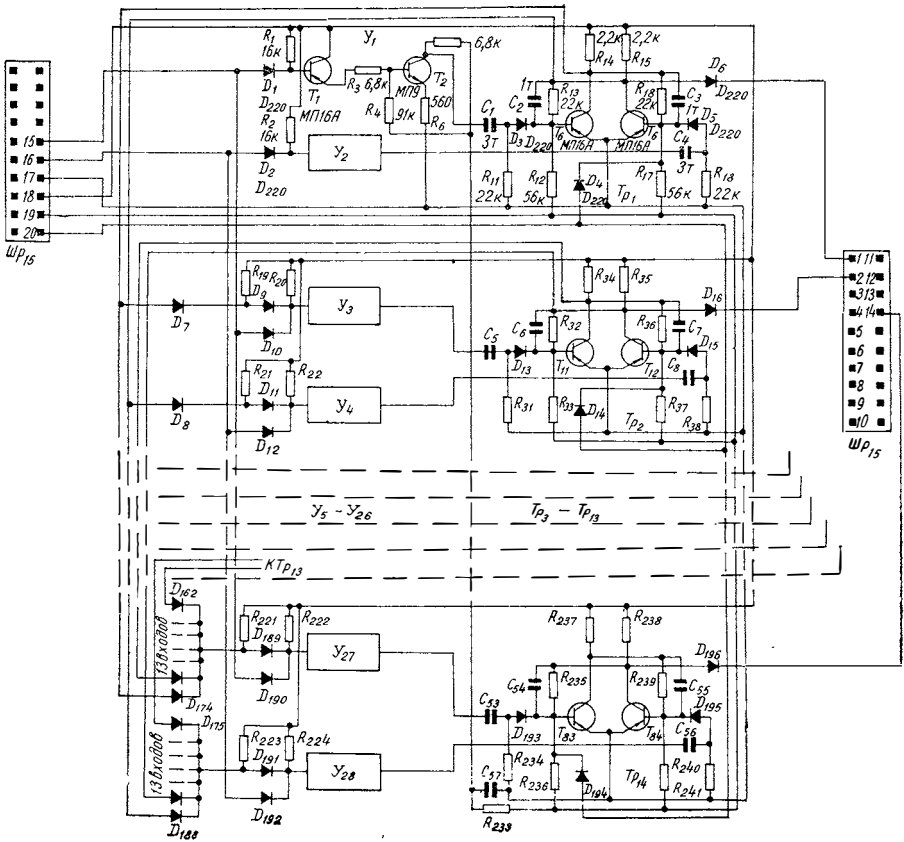


Рис 7. Схема приставки для счета парных размахов

Таблица 1

№ счет- чиков	Пересечения $f=11,91$ Гц $t=20$ мин		Пересечения $f_1=17,83$ Гц $f_2=17,02$ Гц		Размахи $f=17,83$ Гц		1-я и 2-я обработки $f=17,02$ Гц	
	1-я обр.	2-я обр.	1-я обр.	2-я обр.	$n_{нак}$	n'	$n_{нак}$	n'
	2	3	4	5	6	7	8	9

1	14296	14300	2004	1976	10352	652	10356	648
2	14296	14300	4156	4100	9700	760	9708	744
3	14296	14300	5520	5428	8940	476	8964	524
5	14288	14312	7740	7592	7972	492	8000	560
6	14293	14286	8736	8700	7480	556	7440	496
7	14284	14292	9768	9768	6924	388	6944	448
8	15292	14284	9800	9752	6536	860	6496	796

1	2	3	4	5	6	7	8	9
9	14296	14300	8720	8704	5676	448	5700	396
10	14296	14300	7776	7652	5228	980	5304	984
11	14296	14300	7644	6748	4248	360	4320	452
12	14296	14304	5488	5432	3888	1796	3868	1772
13	14296	14300	4112	4076	2092	512	2096	532
14	14292	14300	2040	2016	1580	1580	1564	1564
$\Sigma_{\text{сч}}$	200104	200180	89338	88692	89368	10352	89200	10356
15	200096	200160	89408	89152	89528	—	89332	—
$\Sigma_{\text{теор}}$	14292	14292	—	—	—	10455	—	10455
$\Sigma_{\text{теор}} 14$	200088	200088	—	—	—	—	—	—

Примечания:

- $\Sigma_{\text{сч}}$ — сумма отсчета счетчиков с 1-го по 14-й;
 $\Sigma_{\text{теор}}$ — теоретическое число считаемых событий;
 $\Sigma_{\text{теор}} 14$ — теоретическое число пересечений для 14 счетчиков;
 $n_{\text{нак}}$ — отсчет по счетчику;
 n' — разность показаний счетчиков с номерами n и $(n+1)$.

ляется нестабильностью фаз и амплитуд применяемых генераторов, но эта нестабильность не влияет на общее число циклов.

3) Две обработки процесса, описанного в пункте 2, методом размахов. Результаты обработки приведены в табл. 1, колонки 6—9. Максимальное расхождение между показаниями канальных счетчиков из двух обработок около 1,7%. Разница между суммой канальных счетчиков и общим счетчиком около 0,2%. Разница между теоретическим числом и сосчитанным 1%. Разница в 1,7% определяется указанными выше причинами.

4) Две обработки процесса, описанного в пункте 2, методом экстремальных значений.

Результаты обработки приведены в табл. 2, колонки 2 и 3.

Максимальная разница между числом сосчитанных \max и \min около 1%. Разница между сосчитанным числом экстремальных значений и теоретическим 0,2%.

5) Обработка сложного процесса методом пересечений и методом размахов. Процесс получен путем сложения двух синусоидальных сигналов несинхронизированных генераторов. В таком процессе величина размаха и его положение относительно нуля непрерывно изменяется, а теоретическое число размахов за время испытаний известно.

Результаты обработки в табл. 2, колонка 4 — метод пересечений, колонки 5—6 — метод размахов. Для метода пересечений разница суммы канальных счетчиков и общего счетчика составляет 0,22%. Для методов размахов разница между теоретическим числом размахов и практическим 0,7%.

Таблица 2

№ счет- чиков	Экстремальные значен.		Пересе- чения $f=17,12$ Гц	Размахи $f=17,12$ Гц	
	$f_1=17,83$ Гц	$f_2=17,02$ Гц		$n_{\text{нак}}$	n'
	max	min			
1	2	3	4	5	6
1	1932	0	268	20688	4
2	2324	0	2640	20684	1616
3	1448	0	3792	19064	2568
4	1344	0	4796	16496	2116
5	1160	0	5612	14336	1888
6	1080	0	6664	12448	3944
7	1068	108	7592	8504	1528
8	106	1072	7684	6976	2320
9	0	1076	6608	4656	2764
10	0	1152	5736	1892	1896
11	0	1332	4712	0	0
12	0	1436	3996	0	0
13	0	2318	2692	0	0
14	0	1940	720	0	0
$\Sigma_{\text{сч}}$	10462	10434	63312	125744	20684
15	—	—	63456	126736	—
$\Sigma_{\text{теор}}$	10455	10455	—	—	20544

Приведенные в пунктах 1—5 расхождения между двумя обработками и между практическим и теоретическим числом циклов вполне допустимы, так как они вызовут смещение кривых распределения на величины такого же порядка.

б) Обработка случайного процесса (белый шум) различными методами. Обработки случайного процесса были выполнены методом пересечений, методом размахов и методом экстремальных значений.

Для указанных методов обработки известны теоретические законы распределения вероятностей, что позволяет сравнить практические распределения с теоретическими и получить статистические параметры, характеризующие полученные распределения [8; 6; 7]. Авторы этих работ рекомендуют следующие теоретические законы распределения:

— при обработке по методу пересечений использовать нормальный закон распределения вероятностей (закон распределения Гаусса)

$$\Phi'(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{Z^2}{2}};$$

— при обработке по методу размахов и методу экстремальных значений использовать закон распределения вероятностей Релея

$$\Phi(Z) = Ze^{-\frac{Z^2}{2}}.$$

При построении полигонов распределения ординаты указанных функций взяты из табл. 1 работы [8].

Результаты обработки случайного процесса методом пересечений приведены в табл. 3, методом размахов — в табл. 4, методом экстремальных значений — в табл. 5.

Таблица 3

№ счет- чиков	x_i	n_i	P_i	$x_i P_i$	$x_i - m_x$	$(x_i - m_x)^2$	$\frac{(x_i - m_x)^2 P_i}{m_x}$	Z_i
1	+2,6	188	0,0089	+0,0232	+2,5956	6,7371	0,0600	+2,442
2	+2,2	403	0,0192	+0,0422	+2,1956	4,8206	0,0926	+2,066
3	+1,8	762	0,0361	+0,0650	+1,7956	3,2241	0,1164	+1,689
4	+1,4	1332	0,0650	+0,0910	+1,3956	1,9477	0,1266	+1,313
5	+1,0	2011	0,0953	+0,0953	+0,9956	0,9912	0,0945	+0,937
6	+0,6	2683	0,1272	+0,0763	+0,5956	0,3647	0,0451	+0,560
7	+0,2	3141	0,1488	+0,0298	+0,1956	0,0383	0,0057	+0,184
8	-0,2	3167	0,1501	-0,0300	-0,2044	0,0529	0,0079	-0,216
9	-0,6	2668	0,1265	-0,0759	-0,6044	0,4568	0,0578	-0,636
10	-1,0	2028	0,0961	-0,0961	-1,0044	1,2014	0,1155	-1,031
11	-1,4	1356	0,0643	-0,0900	-1,4044	2,2202	0,1428	-1,402
12	-1,8	748	0,0355	-0,0639	-1,8044	3,4741	0,1233	-1,753
13	-2,2	388	0,0184	-0,0405	-2,2044	5,0198	0,0924	-2,108
14	-2,6	178	0,0084	-0,0219	-2,6044	6,8746	0,0580	-2,466
Σ	—	21093	0,9998	—	—	—	—	—
15	—	21092	—	—	—	—	$D=1,1385$	—
—	—	—	$m_x=+0,0044$	—	—	—	$\sigma=1,063$	—

Примечание. Критерий Колмогорова $\lambda = \frac{0,02}{\sqrt{2,563}} = 0,013$
 $P=1$

Мера точности $H = \frac{1}{1,063 \sqrt{2}} = 0,67$

Сравнительная оценка теоретических распределений с практическими показывает, что практические распределения близки к теоретическим, что подтверждают критерии Колмогорова и меры точности, вычисленные для этих распределений. Указанные характеристики приведены в табл. 3, 4, 5.

Таблица 4

№ счет- чиков	x_i	$n_{\text{нак}}$	n_i	P_i	$x_i P_i$	$x_i - m_x$	$(x_i - m_x)^2$	$(x_i - m_x)^2 P_i$	Z_i
1	0,2	4009	300	0,0748	0,0150	-1,6829	2,8322	0,2119	-1,534
2	0,6	3709	441	0,1100	0,0660	-1,2829	1,6459	0,1810	-1,169
3	1,0	3268	498	0,1242	0,1242	-0,8829	0,7795	0,0968	-0,809
4	1,4	2770	525	0,1308	0,1832	-0,4829	0,2332	0,0305	-0,440
5	1,8	2245	497	0,1240	0,2232	-0,0829	0,0069	0,0008	-0,076
6	2,2	1748	541	0,1349	0,2969	+0,3171	0,1006	0,0136	+0,289
7	2,6	1207	390	0,0973	0,2529	+0,7171	0,5142	0,0500	+0,654
8	3,0	817	304	0,0758	0,2275	+1,1171	1,2479	0,0946	+1,018
9	3,4	513	209	0,0521	0,1772	+1,5171	2,3016	0,1110	+1,383
10	3,8	304	136	0,0339	0,1289	+1,9171	3,6752	0,1247	+1,748
11	4,2	168	86	0,0214	0,0901	+2,3171	5,3689	0,1152	+2,112
12	4,6	82	52	0,0130	0,0597	+2,7171	7,3826	0,0958	+2,447
13	5,0	30	21	0,0052	0,0262	+3,1171	9,7162	0,0508	+2,841
14	5,4	9	9	0,0022	0,0121	+3,5171	12,3699	0,0277	+3,206
Σ	—	20779	4009	0,9998	—	—	—	—	—
15	—	20824	—	—	—	—	—	$D=1,2134$	—
—	—	—	—	—	$m_x=+1,8829$	—	—	$\sigma=1,097$	—

Примечание. Критерий Колмогорова

$$\lambda = \frac{0,03}{\sqrt{2,619}} = 0,019 \quad P = 1$$

$$\text{Мера точности } H = \frac{1}{1,097 \sqrt{2}} = 0,65$$

Таблица 5

№ счет- чиков	x_i	n_i	P_i	$x_i P_i$	$x_i - m_x$	$(x_i - m_x)^2$	$\frac{(x_i - m_x)^2 P_i}{\sigma^2}$	Z_i
1	0,2	179	0,0434	0,0087	-1,7504	3,0640	0,1330	-2,106
2	0,6	213	0,0515	0,0309	-1,3504	1,8236	0,0940	-1,625
3	1,0	318	0,0924	0,0924	-0,9504	0,9033	0,0834	-1,144
4	1,4	611	0,1480	0,2073	-0,5504	0,3030	0,0448	-0,662
5	1,8	681	0,1651	0,2972	-0,1504	0,0226	0,0037	-0,181
6	2,2	762	0,1847	0,4063	+0,2496	0,0623	0,0115	+0,300
7	2,6	655	0,1588	0,4129	+0,6496	0,4220	0,0670	+0,781
8	3,0	442	0,1071	0,3212	+1,0496	+1,0496	1,1016	0,1180
9	3,4	136	0,0330	0,1121	+1,4496	2,1013	0,0693	+1,744
10	3,8	44	0,0107	0,6405	+1,8496	3,4210	0,0365	+2,226
11	4,2	16	0,0039	0,0162	+2,2496	5,0606	0,0196	+2,707
12	4,6	2	0,0005	0,0022	+2,6496	7,0203	0,0034	+3,188
13	5,0	2	0,0005	0,0024	+3,0496	9,3000	0,0045	+3,670
14	5,4	0	0	0	+3,4496	1,8996	0	+4,151
Σ	—	4124	0,9996	—	—	—	—	—
15	—	—	—	—	—	—	$D=0,6889$	—
—	—	—	—	$m_x=+1,9504$	—	—	$\sigma=0,831$	—

Примечание. Критерий Колмогорова $\lambda = \frac{0,05}{\sqrt{2,067}} = 0,035$ $P = 1$

$$\text{Мера точности } H = \frac{1}{0,83 \sqrt{2}} = 0,87$$

Критерии Колмогорова вычислены по формуле, приведенной в работе [7].

$$\lambda = \frac{D}{\sqrt{n}},$$

где D — максимум модуля разности теоретических ординат и практических ординат полученного распределения;

n — приведенная сумма n_i .

Определение $P(\lambda)$ произведено по табл. работы [7].

Меры точности вычислены по формуле, приведенной в работе [8],

$$H = \frac{1}{\sigma \sqrt{2}}.$$

7. Правильность работы анализатора АСУ-3 по методу полных циклов (парных размахов) проверялась путем обработки сложного сигнала, полученного с генератора сигналов сложных форм. Сигнал, подаваемый на анализатор, формировался из основной частоты $f_{\text{осн}}$ и из пятой или шестой гармоник f_5 и f_6 . Амплитуда гар-

Таблица 6

№ счетчиков	1-я обработка		2-я обработка		3-я обработка		4-я обработка		5-я обработка		6-я обработка	
	отсчет счетчика	число циклов	отсчет счетчика	число циклов	отсчет счетчика	число циклов	отсчет счетчика	число циклов	отсчет счетчика	число циклов	отсчет счетчика	число циклов
1	988	0	989	0	988	0	989	0	1467	0	1234	0
2	987	0	987	0	988	0	989	0	1466	0	1235	0
3	989	0	988	0	987	0	989	0	1467	37568	1235	0
4	989	0	988	0	987	0	989	0	880	256	1233	48576
5	988	12608	987	12544	988	12672	988	12608	876	37312	474	3904
6	791	12736	791	12672	790	12608	791	12672	293	0	413	13248
7	592	25216	593	25280	593	25344	593	25216	293	0	206	0
8	198	0	198	0	197	0	199	0	293	0	206	0
9	198	0	198	0	198	0	198	0	294	0	206	0
10	198	0	198	0	198	0	198	0	294	0	206	0
11	198	0	199	0	198	0	197	0	294	0	204	0
12	197	0	198	0	197	0	198	0	294	0	206	0
13	198	0	197	0	198	0	198	0	293	0	206	0
14	198	12672	197	12608	198	12672	198	12672	293	18752	205	13120
$\Sigma_{сч}$	—	63232	—	63104	—	63296	—	63168	—	93888	—	78848
15	1974	63168	1975	63200	1974	63168	1977	63264	2933	93856	2483	79456
$\Sigma_{теор}$	—	63600	—	63600	—	63600	—	63600	—	94050	—	79596

Примечание.

Время обработки $t = 10$ мин.

Основная частота процесса $f_{осн} = 21, 2$ Гц.

Процесс состоит из основной частоты и пятой гармоники.

$\Sigma_{сч}$ — сумма отсчетов счетчиков с 1-го по 14-й.

$\Sigma_{теор}$ — теоретическое число считааемых событий.

моник в разных обработках составляла от 20 до 50% от амплитуды основной частоты.

Результаты обработки приведены в табл. 6. Первые четыре обработки выполнены для одного и того же сигнала, пятая и шестая обработки выполнены при других параметрах сигнала. Из приведенных в таблице результатов видно, что расхождение между количеством циклов одной и той же величины в первых четырех обработках менее 1%. Общее число циклов расходится в обработках на величину порядка 0,3%. Число циклов сосчитанное отличается от теоретического не более чем на 0,9%. В пятой и шестой обработках разница между сосчитанным числом циклов и теоретическим не превышает приведенную выше величину.

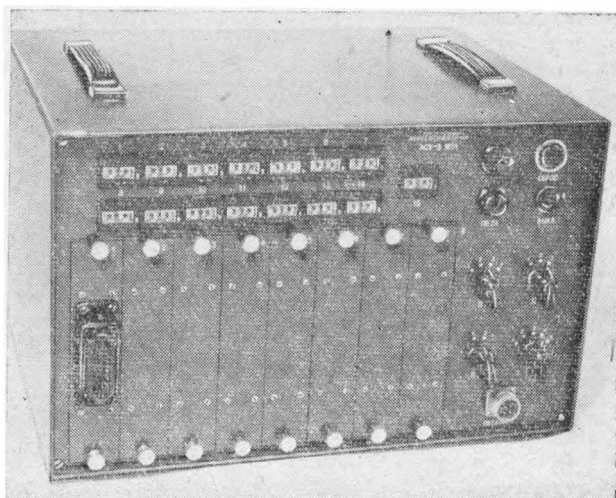


Рис. 8. Анализатор АСУ-3

Результаты испытаний подтверждают правильность работы анализатора, и из проведенных обработок следует, что ошибка в числе циклов, вносимая анализатором, не превышает 1%. Проведенные лабораторные испытания показали, что анализатор пригоден для обработки процессов различными методами, все узлы анализатора работают надежно в интервале температур от -5° до $+40^{\circ}\text{C}$. В результате испытаний получены следующие технические характеристики:

- | | |
|---|--|
| 1) дрейф «нуля» усилителя, приведенный к входу в зависимости от температуры | 0,088 мв на 1°C , или
0,022% на 1°C |
| 2) изменение коэффициента усиления в зависимости от температуры | +0,015% на 1°C |
| 3) смещение порога дискриминатора в зависимости от температуры | 0 |

4) дрейф «нуля» во времени	0,005 мв/мин, или 0,0012% мин
5) смещение порога дискриминатора во времени	0,05 мв/мин, или 0,012% мин
6) входное напряжение	0,2—2 в
7) диапазон рабочих температур	—5°÷+40°С
8) потребляемая мощность	15 вт
9) габариты	500×270×320 мм
10) вес	15 кг

Все приведенные выше в пунктах 1—6 характеристики вычислялись для отрезка времени от десятой до тридцатой минуты. Процентные изменения характеристик даны от межпорогового напряжения равного 400 мв.

Общий вид анализатора приведен на рис. 8.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вильперт К. И. Автоматизация статистических исследований напряжений и усилий в деталях машин и конструкций. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук. М., 1965.
2. Дайчик М. Л., Вильперт К. И., Воронков В. А. Приборы для статистических исследований ускорений, усилий, деформаций. «Автомобильная промышленность», 1963, № 10.
3. Гаснер Е. Программные усталостные испытания применительно к самолетным конструкциям. В сб.: «Усталость самолетных конструкций». М., Оборонгиз, 1961.
4. Слобин Б. З., Трофимов О. Ф. Статистический анализ измерений случайной нагруженности для оценки накопления усталостного повреждения. «Вестник машиностроения», 1966, № 10.
5. Труды НАМИ. Приборы и методы статистического анализа для исследования автомобилей. Вып. 90. М., 1967.
6. Худсон Д. Статистика для физиков. М., «Мир», 1967.
7. Щиголев Б. М. Математическая обработка наблюдений. М., Физматгиз, 1962.
8. Щукин А. Н. Теория вероятностей и экспериментальное определение характеристик сложных объектов. М.—Л., Госэнергоиздат, 1959.
9. Naas T. Loading statistical as a basic of structure and structure and mechanical designs. «The engineers digest», 1962, № 3—5.

К МАТЕМАТИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ ПРОЦЕССОВ ТОПЛИВОПОДАЧИ В АВТОМОБИЛЬНЫХ КАРБЮРАТОРАХ

Несмотря на расширение использования в последнее время систем питания с впрыском топлива и карбюраторов с постоянным разрежением у распылителя, основными в автомобильных бензиновых двигателях по-прежнему остаются топливные системы с эмульсионными карбюраторами. Интенсивные колебания давления и скорости топливо-воздушной смеси во впускном тракте и дозирующих системах карбюратора обуславливают значительные трудности в обеспечении необходимого состава и структуры горючей смеси во всей области рабочих режимов. Эти трудности удается преодолеть лишь в результате специальных трудоемких исследований на двигателе или безмоторных установках. Так как разработка новых двигателей связана с исследованием большого числа экспериментальных вариантов впускных систем, то объем, сроки и стоимость доводочных работ оказываются значительными. Этим объясняется интерес за рубежом и у нас в стране (наряду с глубокими экспериментальными исследованиями процессов топливоподачи в автомобильных карбюраторах в целом и в их отдельных дозирующих системах и элементах) к теоретическому исследованию этих процессов и к созданию их математических моделей.

В общем случае математическому моделированию подлежит неустановившееся течение гетерогенной топливо-воздушной смеси в сложной системе каналов и дозирующих элементов (жиклеров) взаимодействующих между собой главной и вспомогательных дозирующих систем. Трудности в рассматриваемом случае определяются неустановившимся характером течения топливо-воздушной смеси в каналах карбюратора; малыми размерами каналов и соответственно влиянием на течение мелкомасштабных эффектов; различными режимами течения и зависимостью перехода одного в другой от ряда нерегулируемых параметров (степени турбулентности потока, чистоты поверхности каналов и т. д.); зависимостью характеристик дозирующих и других элементов от режима течения.

Сложность процессов топливоподачи является причиной того, что до сих пор экспериментальные исследования топливной аппаратуры нередко проводятся лишь с использованием проливки на вакуумных установках, а математическое моделирование — применительно к установившимся течениям, хотя известно, что только таким путем нельзя получить правильного представления о работе карбюратора. Кроме того, в связи с трудностями исследований топливоподачи с учетом взаимодействия дозирующих систем карбюратора часто ограничиваются рассмотрением некоторых из них или только их отдельных элементов. В результате таких исследований, проведенных в ЦНИТА [3; 5; 7; 9], уточнен ряд важных особенностей процессов топливоподачи. Например, влияние на установившийся топливный и топливо-воздушный потоки проточных элементов оказывается иным, чем на потоки пульсирующие [5; 9]; расходные характеристики проточных элементов зависят не только от их геометрии и свойств проливаемой среды, но и от абсолютных значений и характера колебаний перепадов давлений в них [9] и т. д.

Примеры математического моделирования процессов топливоподачи в автомобильных карбюраторных двигателях

В качестве характерных примеров математических моделей процессов топливоподачи могут служить модели, приведенные в работах [1; 2; 10; 11; 12]. В [10; 11] рассматривается простейшая математическая модель процессов дозирования топливо-воздушной смеси в автомобильном эмульсионном карбюраторе. Она подобно теории карбюрации 1930—1940 гг. базируется на аппроксимации реальных неустановившихся процессов образования и дозирования топливо-воздушной смеси стационарными процессами топливоподачи. Рабочее тело (топливо, эмульсирующий воздух и топливо-воздушная смесь) рассматривается как идеальная несжимаемая гомогенная среда. Местные сопротивления учитываются соответствующими коэффициентами расхода, принимаемыми постоянными, независимыми от режима течения. Необходимые для расчета топливоподачи и взаимодействия главной дозирующей системы и системы холостого хода разрежения в характерных сечениях воздушного тракта карбюратора (в малом диффузоре p_d и под дроссельной заслонкой p_3) также определяются без учета неустановившегося характера течения.

Положительной особенностью модели является относительная простота учета взаимного влияния главной дозирующей системы и системы холостого хода, размеров их топливных и воздушных жиклеров на формирование характеристик карбюратора. Наряду с этим указанная упрощенная постановка задачи имеет и ограниченную практическую ценность в связи с недостаточной полнотой, точностью и достоверностью результатов расчетов по ней.

Более интересные, практически более ценные и вместе с тем немногим более сложные математические модели процесса топливоподачи приводятся в работах [1; 2; 12]. В них рассматриваются близкие друг другу математические модели, учитывающие неустановившийся характер течения топлива [12], а также топлива и топливо-воздушной смеси [1, 2] соответственно в элементарном карбюраторе и в главной дозирующей системе эмульсионного карбюратора. Реальные течения топлива и топливо-воздушной среды аппроксимируются одномерным без учета тепловых эффектов неустановившимся течением однородной несжимаемой весомой гомогенной жидкости. Вместе с тем учитываются потери скорости напора в дозирующих элементах, а в работе [12] — и по длине топливного канала, и в участках резкого изменения проходного сечения и направления течения. Коэффициенты расхода, как и выше, принимаются постоянными, независящими от режима течения.

Таким образом, дозирующие системы делятся на участки нестационарного (каналы) и квазистационарного (участки-сечения местных сопротивлений) течения. При такой постановке задачи процессы топливоподачи описываются обыкновенными дифференциальными уравнениями, решаемыми численно на ЭВМ (при использовании реальных зависимостей во времени перепадов давления между поплавковой камерой $p_{п.к}$, перед воздушным жиклером $p_ж$ и в диффузоре p_d), либо аналитически (при разложении этих зависимостей в ряд Фурье и использовании первых двух членов разложения).

Несмотря на приближенность рассмотренных и подобных им математических моделей они позволяют исследовать ряд важных особенностей топливоподачи, обусловленных изменением во времени перепадов давления $\Delta p_\tau = p_{п.к} - p_d$, $\Delta p_b = p_ж - p_d$.

Вопросы, связанные с влиянием пульсаций давления и скорости в воздушном тракте карбюратора, наиболее подробно исследуются А. Ванатабэ [1; 2], в частности, решается вопрос о вероятности возникновения резонанса колебаний. Пренебрегая сопротивлением распылителя и изменением потенциальной энергии потока, полагая

$$\Delta p_\tau = p_{п.к} - p_d = \Delta p + \Delta p_1 \cos(\omega t + \theta),$$

А. Ванатабэ сводит уравнение, описывающее процесс топливоподачи в элементарном карбюраторе, к уравнению Матье. В этом случае устанавливается следующая аналитическая зависимость между расходом топлива, геометрическими параметрами дозирующей системы и колебаниями перепада давления

$$G_\tau = \frac{\mu}{2\alpha} \omega - \frac{\frac{\mu^2 - a}{q} \omega \sin(\omega t + \theta)}{\alpha \left[1 + \frac{\mu^2 - a}{q} \cos(\omega t + \theta) \right]}, \quad (1)$$

где ω — круговая частота вынужденных колебаний;

a, q — параметры в уравнении Матъе;

μ — показатель экспоненты в уравнении Матъе;

α — коэффициент пропорциональности, включающий геометрические и расходные параметры дозирующей системы.

При указанной постановке задачи в работах [1; 2] определены взаимосвязь параметров, входящих в расчетное уравнение расхода топлива, условия возникновения обратного течения, соответствие расходов топлива при одинаковых средних значениях Δp_T в случаях предельных значений частоты вынужденных колебаний (при стремлении частоты колебаний к нулю и к бесконечности) расходу установившегося потока.

Приняв равными давления в топливном и воздушном потоках в эмульсионном узле и скорости топлива и воздуха в распылителе и определяя их расход через жиклеры по общепринятым соотношениям для стационарных течений несжимаемой жидкости, А. Ванатабэ и в случае дозирующей системы с эмульсированием топлива приходит к зависимости подобной (1).

О точности расчетов по рассмотренным математическим моделям как применительно к элементарным, так и особенно эмульсионным карбюраторам говорить преждевременно. Это в первую очередь определяется еще недостаточной точностью измерения пульсирующих давлений в поплавковой камере, перед воздушным жиклером и особенно в малом диффузоре карбюратора, куда поступает топливо из распылителя главной дозирующей системы. Недостаточно еще выполнено и расчетно-экспериментальных исследований, в которых бы такое сопоставление проводилось. Однако установленные с помощью рассмотренных математических моделей качественные закономерности полезны как для конструкторов, так и для исследователей, так как они уточняют представление о процессах топливоподачи, происходящих в условиях пульсирующего воздушного потока, и тем самым в известной мере облегчают выбор рациональной схемы и размеров элементов дозирующих систем карбюраторов.

О работах, проводимых в НАМИ по математическому моделированию процессов топливоподачи в автомобильных карбюраторных двигателях

Работы НАМИ по математическому моделированию процессов образования и дозирования топливо-воздушной смеси в дозирующих системах карбюраторов были начаты с рассмотренных в работах [1; 2] простейших моделей. Важной особенностью этих работ является то, что математическое моделирование процессов в дозирующих системах карбюратора рассматривается не столько как самостоятельная задача, а как составная часть общей задачи о процессах, происходящих во всей впускной системе автомобильных карбюра-

торных двигателей. Практическое решение такой сложной задачи облегчает выявленное экспериментальным, а в дальнейшем и расчетным путями относительно малое влияние топлива во впускной системе карбюраторного двигателя на неустановившийся воздушный поток и как следствие показатели наполнения. Это позволило математическое моделирование процессов во впускной системе автомобильных карбюраторных двигателей разделить на ряд самостоятельных этапов.

Вначале рассчитывается процесс наполнения с учетом неустановившегося воздушного потока во впускном тракте. Получаемые в результате расчетов изменения давления в минимальном сечении малого диффузора, поплавковой камере, перед воздушным жиклером и в дроссельной заслонке используются в качестве исходных для расчета течения топлива и топливо-воздушной смеси в каналах карбюратора. Затем проводится расчетное исследование процессов образования и дозирования топливо-воздушной смеси в карбюраторе.

Полученные зависимости поступления топлива в воздушный тракт карбюратора в свою очередь используются в качестве исходных для расчетного определения процессов смесеобразования во впускном тракте, рассматриваемых в рамках механики сплошной среды как неустановившееся движение гетерогенной топливо-воздушной смеси с фазовыми превращениями.

Такой подход обеспечивает возможность получения информации для выбора на стадии проектирования близких к оптимальным основных параметров конструкции впускной системы.

Процессы топливоподачи математически моделировались и расчетно исследовались в двух моделях главной дозирующей системы — элементарной и с подводом эмульгирующего воздуха, изображенных на рис. 1. При выводе уравнения, аппроксимирующего неустановившееся течение топлива в первой из них, использовались те же соображения, что и в рассмотренных выше работах [1; 2; 12]. Вследствие несжимаемости топлива скорость течения в каждом канале не зависит от координаты и поэтому уравнения движения в них можно записать в следующем виде (считаем ось Ox направленной вдоль всех каналов от поплавковой камеры к диффузору):

$$\rho x_i \frac{du_i}{dt} = p_i - \bar{p}_i - g \rho x_i \sin \beta_i - \Delta p_{\tau i}, \quad (2)$$

где p_i, \bar{p}_i — давление соответственно в начале и конце i -го канала;
 ρ — плотность топлива;

β — угол между направлением течения и горизонталью;

$\Delta p_{\tau i}$ — потери давления вследствие трения топлива о стенки канала.

Величина $\Delta p_{\tau i}$ определяется в расчетах по формуле Блазиуса для турбулентного течения.

Коэффициенты потерь давления в местах резкого изменения сечения и поворотов каналов и коэффициенты расхода α проточных

элементов дозирующей системы считаются постоянными и определяются по литературным данным или экспериментально.

Исходное расчетное уравнение получается путем суммирования уравнений движения (2) в каждом канале дозирующей системы при проведении скорости течения в них к текущему значению ее в топливном распылителе.

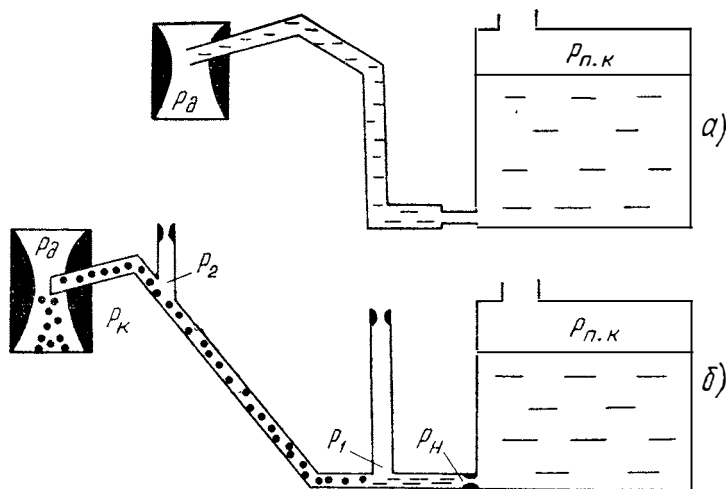


Рис. 1 Расчетные схемы главной дозирующей системы элементарного (а) и эмульсионного (б) карбюраторов

Полученное исходное уравнение решается численно на ЭЦВМ «Минск-22» методом последовательных приближений. В качестве исходных значений давлений в поплавковой камере и малом диффузоре использовались экспериментально определенные осциллограммы давления при нахождении карбюратора на работающем двигателе и вакуумной установке с пульсатором давления, средние пьезометрические, а также расчетные давления. Значения коэффициентов расхода на участках резкого изменения проходного сечения каналов и поворотов выбирались по литературным данным. Правильность задания коэффициентов расхода оценивалась путем решения исходного расчетного уравнения при постоянных перепадах давления между поплавковой камерой и малым диффузором и сравнения результатов расчетов с расходом топлива, полученным при проливке дозирующей системы при тех же перепадах давления.

Сопоставление по расходу топлива расчетов с экспериментами показало, что их надежность и точность во многом определяются надежностью и точностью задания расходных характеристик топливного жиклера и участков местных сопротивлений (рис. 2). Однако если за счет корректировки значений коэффициентов расхода

совместить при одном из перепадов давления расчетную кривую $G_T(\Delta p_T)$ с экспериментальной, то при других перепадах давления расходы топлива отличаются от нуля до 8—10%. Это различие оказывается большим в области низких перепадов давления, что, по-видимому, определяется изменением режима течения и, в частности, переходом от струйного истечения топлива из распылителя на капельное. Кроме того, в условиях эксперимента имеют место колебания давления, а также карбюратора вместе с двигателем и вакуумной установкой, обуславливающие интенсификацию топливopодачи, особенно заметную при малых перепадах давления.

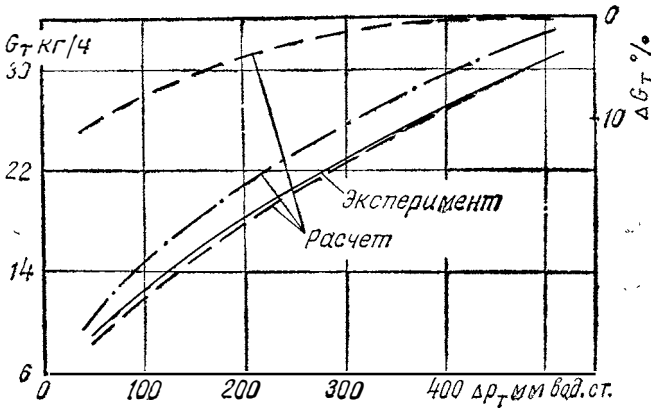


Рис. 2 Экспериментальный и расчетный расходы топлива через элементарный карбюратор при постоянных исходных перепадах давления и различных значениях (при расчете) коэффициентов расхода местных сопротивлений

Приблизительно на 8—10% отличаются также расчетные значения расхода топлива от экспериментальных и при работе карбюратора в условиях реального неустановившегося воздушного потока и соответственно изменяющихся во времени давлений $p_{п.к}$ и p_d , таких, как, например, на рис. 3,а, полученных осциллографированием шестицилиндрового двигателя с исследуемым двухкамерным карбюратором на режиме 3000 об/мин при полностью открытом дросселе. Соответствующая этому режиму расчетная кривая изменения скорости топлива в распылителе в течение цикла (двух оборотов коленчатого вала) представлена на рис. 3,б. Течение имеет четко выраженный нестационарный характер; обратные течения отсутствуют, несмотря на кратковременное наличие отрицательных перепадов давления; кривые скорости течения сдвинуты по фазе в сторону запаздывания.

Таким образом, для получения более точных результатов коэффициенты расхода следует задавать не постоянными, а изменяю-

щимися в зависимости от режима течения или перепада давления Δp_t . Непосредственно влияют на результаты расчетов и точность задания изменения Δp_t во времени. Поэтому в практических расчетных исследованиях нежелательно использовать приближенную аппроксимацию зависимости $\Delta p_t(t)$, неизбежную для аналитических способов решения задачи о математическом моделировании процессов топливоподачи в автомобильных карбюраторных двигателях. Это, в частности, подтверждается выполненными аналитическими расчетами применительно к неустановившемуся течению топливо-воздушной смеси в дозирующей системе, представленной на рис. 1,б, воспроизводящей характерные черты, присущие главной дозирующей системе автомобильного эмульсионного карбюратора: топливный и воздушный каналы, повороты каналов.

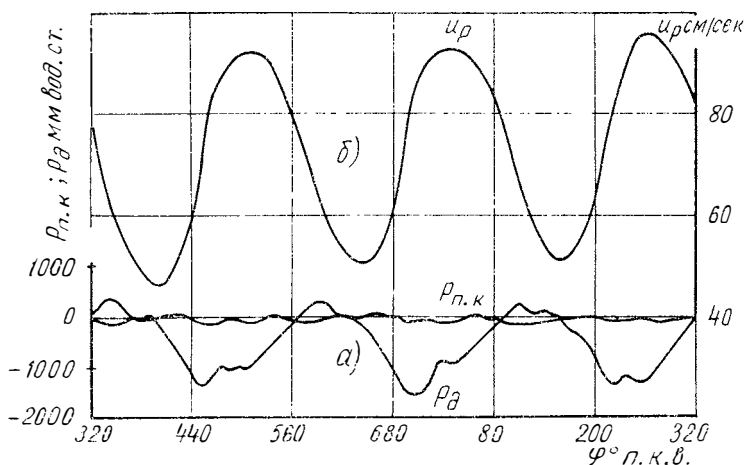


Рис. 3. Изменение в течение цикла (двух оборотов коленвала двигателя на режиме $n=3000$ об/мин) скорости течения топлива в распылителе при экспериментально определенных давлениях в поплавковой камере и диффузоре

При выводе расчетного уравнения зависимость перепада давления $\Delta p = p_n - p_k$ между входом и выходом из главной дозирующей системы, как и в [1; 2], аппроксимируется первыми двумя членами разложения Δp в ряд Фурье. Влияние поворота канала на течение топлива описывается потерей динамического напора, пропорциональной соответствующим коэффициентам ξ потерь. Течение принимается одномерным, а топливо-воздушная смесь — идеальной несжимаемой жидкостью. Топливный канал делится на три участка: до первого воздушного канала; от первого до второго воздушного каналов; от второго воздушного канала до среза распылителя. Для каждого из этих участков выписываются уравнения движения, а для обоих узлов эмульсирования — уравнения расходов. Посредством последних скорости течения топливо-воздушной

смеси во втором и третьем участках связываются со скоростью топлива в первом участке. Подставляя эти связи в уравнения движения и складывая последние, получаем уравнение

$$D \frac{du_1}{dt} = p_n - p_k - F_{\text{тр}} u_1^2 - F_m, \quad (3)$$

где F_m — массовые силы;

$D, F_{\text{тр}}$ — коэффициенты, характеризующие инерционные свойства смеси в каналах и потери напора на трение и в местах местных сопротивлений;

u_1 — скорость топлива в первом участке.

Аппроксимируя реальный перепад давления $\Delta p = p_n - p_k$ первыми двумя членами разложения в ряд Фурье

$$\Delta p = p_a [C + E \cos(\omega t + \Theta)],$$

где C, E — постоянные коэффициенты, и произведя замену переменных

$$y = e^{\int \frac{F_{\text{тр}}}{D} u_1 dt},$$

приводим уравнение (3) к безразмерному виду

$$\frac{d^2 y}{dz^2} - (a - 2q \cos 2z) y = 0, \quad (4)$$

где $z = \frac{1}{2}(\omega t + \Theta)$;

$$a = \left(\frac{2}{\omega}\right)^2 \frac{F_{\text{тр}}}{D^2} (p_n - Cp_a - F_m);$$

$$q = \pm \frac{1}{2} \left(\frac{2}{\omega}\right)^2 \frac{F_{\text{тр}}}{D^2} E p_n.$$

Следуя [1; 2], решение в первом приближении ищем в виде

$$y = e^{\mu z} (a_0 + a_2 \cos 2z). \quad (5)$$

Подставив это решение в уравнение (4), получим для неопределенных коэффициентов следующие соотношения:

$$\mu = (2 - a - \sqrt{2q^2 + 4})^{\frac{1}{2}}; \quad a_2 = \frac{\mu^2 - a}{q} a_0 = \frac{2 - \sqrt{2q^2 + 4}}{q} \quad (6)$$

и решение уравнения (4) в виде

$$u_1 = \frac{\omega D}{2F_{\text{тр}}} \left[\mu \frac{2 \sin(\omega t + \Theta)}{q} - \frac{q}{\mu_2 - a} \cos(\omega t + \Theta) \right].$$

Рассмотренное выше приближение (5), как следует из выполненных расчетов, можно уточнить, положив в (6)

$$\mu = (2 - a - \sqrt{3q^2 + 4})^{\frac{1}{2}}, \quad (7)$$

Из рис. 4, в частности, следует, что результаты расчетов по уравнению (3) в этом случае (см. кривую 2) являются более точными, так как кривая изменения скорости во времени при этом в большей мере соответствует таковому при численном решении исходного уравнения (3) методом Рунге-Кутты четвертого порядка (кривая 3).

Таким образом, рассмотренные аналитические способы решения задачи, как правило, сопровождаются понижением точности результатов расчетов и поэтому в практических расчетных исследованиях задачу о процессах топливоподачи предпочтительнее решать численно.

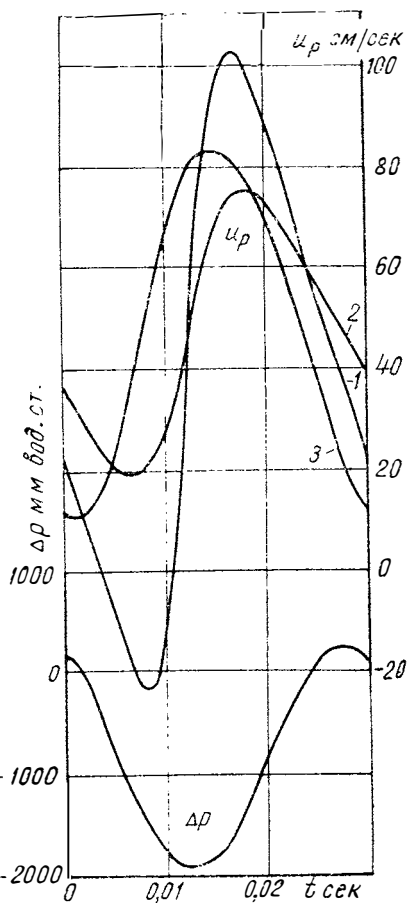


Рис. 4. Изменение в течение цикла расчетной скорости топливо-воздушной смеси в распылителе главной дозирующей системы эмульсионного карбюратора при одинаковом исходном перепаде давления;

1 — аналитическое решение с использованием приближения (5); 2 — то же с использованием приближения (7); 3 — численное решение

Вторым выводом можно сделать следующий. Если способы расчета неустановившегося течения топлива в элементарных карбюраторах уже в сегодняшнем состоянии в значительной мере удовлетворяют требованиям практики по надежности и точности результатов, то рассмотренные в [1; 2] и авторами данной статьи простейшие математические модели процессов топливоподачи в дозирующих системах с воздушными каналами следует рас-

смаатривать лишь как первые приближения задачи об эмульсировании. Их общими недостатками являются следующие: принятие топливо-воздушной среды гомогенной с одинаковыми мгновенными скоростями движения и концентрациями фаз по всей длине соответствующих каналов; в значительной мере формальный подход к решению вопроса о собственно эмульсировании — взаимодействии в эмульсионных тройниках топливного и воздушного потоков. Действительно, из [7] следует, что (по крайней мере при постоянных перепадах давления Δp_T) топливо-воздушная среда близка к гомогенной лишь в области высоких скоростей течения и перепадов давления; при низких и средних перепадах она является гетерогенной с различными характерами течения фаз. В этих условиях односкоростная модель течения топливо-воздушной смеси может явиться причиной значительных погрешностей.

Ни в [1; 2], ни в рассмотренной выше математической модели процессы, имеющие место в тройниках, по сути не рассматриваются. В [1; 2], например, в результате принятых допущений отношение расходов воздуха и топлива оказывается зависящим лишь от их удельного веса и эффективных проходных сечений каналов. В рассмотренной же выше модели эти отношения вообще не определяются, а считаются заранее известными и при этом условии посредством решения уравнения (3) определяется расход топлива во времени в рассматриваемой конкретной дозирующей системе при произвольном изменении за цикл перепада давления Δp между началом и концом канала.

Анализ показывает, что, оставаясь в рамках односкоростной модели неустановившегося движения топливо-воздушной смеси, рассматриваемой как несжимаемая жидкость, вообще вряд ли возможно удовлетворительное решение вопроса об эмульсировании. Например, в [4] для установившегося двухфазного газо-жидкостного потока коэффициент скольжения фаз определяется следующим соотношением:

$$\frac{u_T}{u_{ж}} = \sqrt[3]{\frac{\rho_{ж}}{\rho_T}},$$

где $u_{ж}$, u_T — скорости соответственно жидкости и газа;

$\rho_{ж}$, ρ_T — плотности этих сред.

Для топлива и воздуха, считая $\rho_{ж} = 0,745$ г/см³ и $\rho_T = 0,00129$ г/см³, получим $\frac{u_T}{u_{ж}} = 8,33$, т. е. скорость воздуха оказывается существенно большей скорости течения топлива.

Таким образом, необходимо дальнейшее уточнение математической модели топливоподачи в эмульсионных карбюраторах.

Следующим естественным шагом в решении задачи об эмульсировании при условии отсутствия необходимых надежных экспериментальных данных и их обобщения представляется учет сжимаемости топливо-воздушной смеси. Топливо рассматривается как

идеальная несжимаемая жидкость, а воздух — как калорически совершенный газ. В качестве уравнения состояния для топливо-воздушной смеси используется [6]:

$$\rho = \rho_0 \left[\alpha \left(\frac{p}{p_0} \right)^{-\frac{1}{k}} + (1 - \alpha) \right]^{-1},$$

где α — объемная доля воздуха в смеси.

Смесь считается идеальной жидкостью.

Одномерное течение такой смеси в наклонной (под углом β к горизонтали) круглой трубе описывается следующей системой уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} &= -\xi \frac{u|u|}{2d} - g \sin \beta \\ \frac{\partial \rho}{\partial t} + u \frac{\partial \rho}{\partial x} + \rho \frac{\partial u}{\partial x} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Последнее уравнение системы можно переписать в виде

$$\frac{\partial p}{\partial t} + u \frac{\partial p}{\partial x} + \rho a^2 \frac{\partial u}{\partial x} = 0, \quad (9)$$

где

$$a^2 = \frac{\partial p}{\partial \rho} = \frac{k p}{\rho (1 - F_p)} F = \frac{1 - \alpha}{\rho_0}.$$

Скорость звука в смеси a существенно меньше, чем в каждой из компонент смеси, и достигает минимального значения при $\alpha = 0,5$ (см. рис. 5, который получен при $\rho_0 = 1 \text{ кг/см}^2$ и $\rho_r = 0,726 \text{ г/см}^3$).

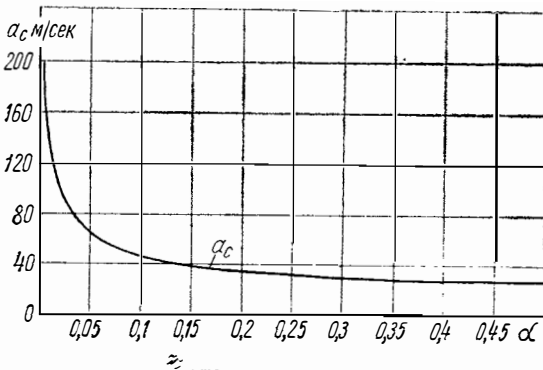


Рис. 5. Расчетная скорость звука в топливо-воздушной смеси в зависимости от объемного содержания в ней воздуха

Таким образом, в случае сжимаемой топливо-воздушной смеси исходная система уравнений состоит из уравнений (8) и (9). Если не учитывать массовые силы, т. е. принять $g \sin \beta = 0$, то система

без члена $\xi \frac{u|u|}{2d}$ описывает движение газа, лишенного вязкости и теплопроводности и не дает гладкого решения [8]. Расчет течения с учетом поверхностей разрывов затруднителен. К тому же на практике, ввиду наличия диссипативных сил, интересующие нас течения, как правило, оказываются непрерывными. Поэтому часто вводят искусственную «вязкость» — некую символическую в условиях идеального газа величину. Введением такой вязкости добиваются размывания ударной волны — превращения ее в зону конечной ширины.

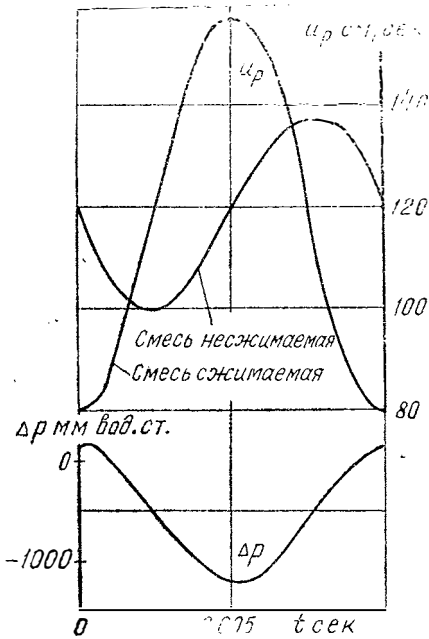


Рис. 6. Изменение в течение цикла расчетной скорости топливо-воздушной смеси (несжимаемой и сжимаемой) в распылителе при одинаковом исходном перепаде давления

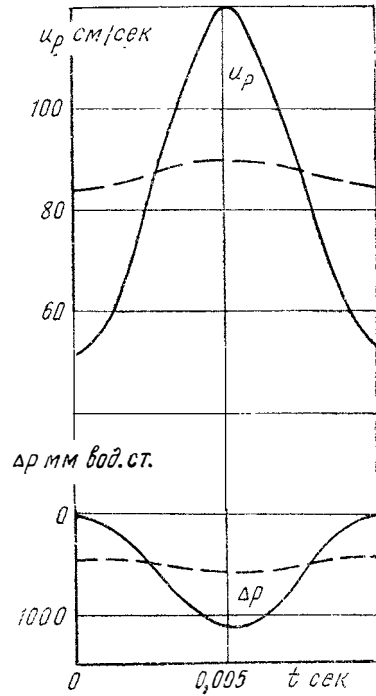


Рис. 7. Изменение в течение цикла расчетной скорости сжимаемой топливо-воздушной смеси в распылителе при различных амплитудах колебания исходного перепада давления

Система уравнений (8) и (9) решалась численно разностно-характеристическим способом применительно к модели эмульсионной дозирующей системы, изображенной на рис. 1,б, с одним воздушным каналом. Для упрощения счета и сравнения результатов расчеты выполнены при давлениях в поплавковой камере и перед воздушным жиклером, равных атмосферному, а на срезе распылителя (в малом диффузоре карбюратора) — изменяющихся во вре-

мени по синусоидальному закону. Длительность счета в данном случае во много раз возрастает по сравнению с предыдущей моделью, в которой топливо-воздушная смесь принимается несжимаемой.

Как и в случае несжимаемой жидкости имеют место интенсивные колебания скорости течения топливо-воздушной смеси, а также отсутствуют обратные течения несмотря на наличие отрицательных перепадов давления на части цикла. Вместе с этим отсутствует сдвиг фаз между колебаниями скорости топливо-воздушной смеси у выхода из распылителя и давления в малом диффузоре карбюратора (рис. 6). При этом амплитуды колебания скорости сжимаемой топливо-воздушной смеси при одинаковых расходах топлива оказываются большими, чем несжимаемой. Следует отметить, что как в случае несжимаемой топливо-воздушной смеси, так и сжимаемой определяющее влияние на величину расхода топлива оказывает исходный перепад давления, и, в частности, среднее значение его за цикл. Например, в расчетах с одинаковыми исходными данными, результаты которых представлены на рис. 6, расход топлива по обоим математическим моделям отличается всего лишь на 1,5%. Далее, при значительном изменении амплитуды колебания давления, но сохранении одинаковым среднего значения перепада его расход топлива, рассчитанный по модели сжимаемой среды, отличается менее чем на 0,5% (рис. 7).

Выводы

1. При расчете закона топливоподачи в элементарном карбюраторе (модель неустановившегося течения несжимаемой жидкости) значение среднего за цикл расхода топлива, близкое к экспериментальному, обеспечивается лишь при использовании осциллограмм давлений (или точно определенных расчетных кривых давлений) в диффузоре и в поплавковой камере. Следовательно, аналитические решения, где перепад давления задается приближенно, пригодны только для качественного анализа процесса топливоподачи.

2. В рассмотренных моделях процесса топливоподачи в эмульсионном карбюраторе используется общепринятое предположение о равенстве скоростей топлива и воздуха. Однако в действительности топливо-воздушные потоки в таких системах имеют сложный характер. В частности, режим течения в широкой области перепадов давления может быть раздельным с существенно различными скоростями движения жидкой и газовой фаз. Поэтому для описания динамики процесса топливоподачи в эмульсионных карбюраторах следует применять многоскоростные модели течения топлива и воздуха.

3. Выполненные расчеты показывают, что большое влияние на точность результатов оказывает задание коэффициентов расхода и местных сопротивлений. Следовательно, при разработке матема-

тических моделей топливоподачи должны использоваться экспериментально определенные закономерности изменения этих коэффициентов.

Для моделирования течения гетерогенной среды необходимо также экспериментальное определение режимов (зон) течения топлива и воздуха и критериев изменения этих зон.

4. Для получения полного представления о параметрах подаваемой во впускной тракт топливо-воздушной смеси при построении математической модели следует учитывать не только силовые взаимодействия фаз, но фазовые переходы и тепловое взаимодействие между фазами и стенками каналов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ванатабэ А. Влияние пульсирующих потоков на работу карбюратора. «Исудзу Ико», 1964, № 64.

2. Ванатабэ А. Влияние пульсаций на работу карбюратора. «Найнэн Кикак», 1965, т. 4, № 8. То же перевод 67/73196 ВИНИТИ.

3. Демочка О. И. Топливная аппаратура и состав отработавших газов. В сб.: «Труды ЦНИТА», вып. 43. Л., 1969.

4. Зиви. Расчет паровой полости в стационарном двухскоростном течении с помощью минимума прироста энтропии. «Теплопередача», 1964, т. 86, сер. С, № 2.

5. Лобынцев Ю. И., Коляков И. А. Анализ течения пульсирующего потока в системах карбюрации при больших числах Рейнольдса. В сб.: «Труды ЦНИТА», вып. 54. Л., 1973.

6. Ляхов Г. М. Основы динамики взрыва в грунтах и жидких средах. М., «Недра», 1964.

7. Пиварунас А. Б. Некоторые особенности топливоподачи карбюратора. В сб.: «Труды ЦНИТА», вып. 43. Л., 1969.

8. Рождественский Б. Л., Яненко Н. Н. Система квазилинейных уравнений и их приложения к газовой динамике. М., «Наука», 1968.

9. Степанов Э. М. К вопросу моделирования пульсирующих потоков на вакуумных установках. В сб.: «Труды ЦНИТА», вып. 40. Л., 1969.

10. Третьяков Н. П. Методика анализа работы карбюратора с помощью ЭВМ. «Автомобильная промышленность», 1973, № 6.

11. Третьяков Н. П. Численное моделирование работы автомобильного карбюратора. Аннотации докладов XXXI научно-исследовательской конференции МАДИ. М., 1973.

12. Brandstetter W. Der Gemischvorgang im Ansaugsystem der Verbrennungskraftmaschine bei periodischinstationären Strömungen. «Autom.—Irid.», 1966, v 11, № 4.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И МЕТОД РАСЧЕТА ПРОЦЕССОВ СМЕСЕОБРАЗОВАНИЯ ВО ВПУСКНОМ ТРАКТЕ КАРБЮРАТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Процессы смесеобразования в современных автомобильных карбюраторных двигателях, как правило, протекают в условиях интенсивных колебаний давления и скорости топливо-воздушного потока во впускном тракте вследствие периодического открытия клапанов и поступательного движения поршня. Их экспериментальное исследование является дорогостоящим и подчас трудновыполнимым. Разработка математической модели и программ расчета на ЭВМ позволит исследовать процессы смесеобразования в двигателях с различными схемами впускных систем на различных режимах их работы, влияние отдельных факторов (при «замораживании» остальных) на процесс (что недостижимо в эксперименте) и тем самым ускорит решение вопросов, связанных с его совершенствованием. В статье приводятся постановка задачи о смесеобразовании в условиях пульсирующего потока топливовоздушной смеси, метод ее решения на ЭВМ и некоторые результаты расчетных исследований.

Предположим, что топливо-воздушная рабочая среда состоит из паровоздушной смеси (воздуха с парами топлива), содержащей облако несжимаемых капель топлива одинакового диаметра d , взаимодействием между которыми можно пренебречь; пар и паровоздушная смесь — calorически совершенные газы, имеющие одинаковые скорости и температуры; характерные длины изменения параметров облака капель и паровоздушной смеси — одного порядка, вследствие чего облако капель описывается континуальными переменными. Ниже параметры, относящиеся к паровоздушной смеси (первая фаза), каплям (вторая фаза) и пару, будут снабжаться индексом 1, 2, 3 внизу, а параметры в состоянии насыщения индексом s .

Пусть $u_i, T_i, p_i, \rho_i, \rho_i^0$ ($i=1, 2, 3$) — скорость, температура, давление, парциальная и физическая плотности соответствующих составляющих среды, тогда из вышесказанного с использованием [5] следует

$$\left. \begin{aligned} u_1 = u_3, \quad T_1 = T_3, \quad p_2 = 0, \quad \rho_2^0 = \text{const}, \\ p_1 = \rho_1^0 R T_1, \quad p_3 = \rho_3^0 R T_1, \quad \rho_1 = \alpha \rho_1^0, \quad \rho_2 = (1 - \alpha) \rho_2^0, \\ \rho_3 = \alpha \rho_3^0, \quad c_p = \text{const}, \quad c_v = \text{const}, \quad c_p - c_v = R. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Здесь R — универсальная газовая постоянная;

α — объемная концентрация паровоздушной смеси (пара);

c_p, c_v — теплоемкости паровоздушной смеси соответственно при постоянном давлении и постоянном объеме. В дальнейшем давление среды p_1 будем обозначать через p .

При учете силового, теплового взаимодействия фаз, испарения капель, подогрева стенок впускного тракта в предположении, что энергия смеси является аддитивной по массе фаз, причем вся диссипируемая кинетическая энергия топливо-воздушной смеси из-за силового взаимодействия несущего потока и капель переходит во внутреннюю энергию несущего потока, вязкость и теплопроводность существенны лишь в процессах взаимодействия между фазами, скорость испарившейся массы равна скорости капель, дифференциальные уравнения сохранения массы, импульса, внутренней энергии e_i фаз в случае непрерывного одномерного течения в прямой трубе с использованием [4; 3; 7] записываются в виде

$$\left. \begin{aligned} \frac{d_1 \rho_1}{dt} + \rho_1 \frac{\partial u_1}{\partial x} &= I_{21}, \quad \frac{d_2 \rho_2}{dt} + \rho_2 \frac{\partial u_2}{\partial x} = -I_{21}, \\ \rho_1 \frac{d_1 u_1}{dt} &= -\alpha \frac{\partial p}{\partial x} + f_{12} + I_{21} (u_2 - u_1) - \xi \rho_1 \frac{u_1 |u_1|}{2d_1} - \rho_1 g \cos \theta, \\ \rho_2 \frac{d_2 u_2}{dt} &= -(1 - \alpha) \frac{\partial p}{\partial x} - f_{12} - \rho_2 g \cos \theta, \\ \rho_1 \frac{d_1 e_1}{dt} &= -\rho_1 p \frac{d_1}{dt} \left(\frac{1}{\rho_1^0} \right) + f_{12} (u_1 - u_2) + I_{21} \frac{(u_2 - u_1)^2}{2} + \\ &+ I_{21} (h_{1s} - h_1) - q_{12} - \frac{dq_1}{dx} - \xi \rho_1 \frac{u_1^2 |u_1|}{2d_1}, \\ \rho_2 \frac{d_2 e_2}{dt} &= -I_{21} (h_{1s} - h_2) + q_{12} - \frac{dq_2}{dx}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Здесь

x — координата длины (вдоль оси трубопровода);

$\frac{d_i}{dt} = \frac{\partial_i}{\partial t} + u_1 \frac{\partial_i}{\partial x}$ ($i = 1, 2$) — оператор субстанциональной производной;

I_{21} — макроскопическая скорость испарения капель топлива в единице объема среды;

f_{12} — объемная сила, обусловленная взаимодействием между фазами;

q_{12} — теплообмен между фазами, отнесенный к единице объема среды и времени;

g — ускорение свободного падения;

θ — угол между вертикалью и положительным направлением оси x ;

$h_i, \frac{dq_i}{dx}$ ($i = 1, 2$) — удельное теплосодержание и количество тепла, подводимое через стенки впускного тракта, отнесенное к единице объема и времени;

d_1 — внутренний диаметр трубы.

Третий и четвертый члены правой части третьего уравнения системы (2) — импульсы, обусловленные фазовым переходом (испарение) и трением несущего потока о стенки трубы; последние члены в правых частях третьего и четвертого уравнений — импульсы, обусловленные силами тяжести. Первый член правой части пятого уравнения — обратимая работа сил давления, все остальные члены, а также члены правой части шестого уравнения — некомпенсированное тепло (диссипируемая энергия за счет взаимодействия между фазами и трения о стенки, за счет необратимого обмена импульсами при фазовом переходе и подвода тепла к соответствующей фазе извне).

Система (2) является гиперболической, если $|u_1 - u_2| > a_1$, то есть, если скорость скольжения больше скорости звука в паровоздушной смеси [1]. Однако этот случай выходит как за рамки решаемого здесь класса задач, так и за рамки применимости используемой теории. Во всех остальных случаях система (2) имеет четыре действительных характеристики и две комплексных, являясь системой составного (гиперболично-эллиптического) типа. Численное решение подобных систем сопряжено с большими трудностями, так как исследование даже некоторых частных вопросов, связанных со сходимостью и устойчивостью разностных схем, требует привлечения специального математического аппарата, а сам счет в случае выбора устойчивой схемы — мощных (в смысле быстродействия и памяти) ЭВМ.

Во впускных трактах карбюраторных двигателей объемное содержание капель топлива на несколько порядков меньше объемного содержания воздуха, вследствие чего можно положить

$$\rho_1 = \rho_1^0, \quad \rho_3 = \rho_3^0. \quad (3)$$

Учитывая (3), а также пренебрегая в уравнении сохранения импульса второй фазы системы (2) членом $(1-\alpha) \frac{\partial p}{\partial x}$, добавляя уравнение сохранения массы пара, в безразмерных переменных при тех же обозначениях получаем систему дифференциальных уравнений в частных производных гиперболического типа относительно неизвестных $u_1, u_2, T_1, T_2, \rho_1, \rho_2, \alpha$

$$\left. \begin{aligned} \frac{d_1 \rho_1}{dt} + \rho_1 \frac{\partial u_1}{\partial x} &= f_1, & \frac{d_1 \rho_2}{dt} + \rho_2 \frac{\partial u_2}{\partial x} &= f_2, \\ \frac{d_1 u_1}{dt} + \frac{T_1}{\rho_1} \cdot \frac{\partial \rho_1}{\partial x} + \frac{\partial T_1}{\partial x} &= f_3, & \rho_1 \frac{d_1 T_1}{dt} - (k-1) T_1 \frac{d_1 \rho_1}{dt} &= f_4, \\ -\frac{d_2 \alpha}{dt} + (1-\alpha) \frac{\partial u_2}{\partial x} &= f_5, & \frac{d_2 u_2}{dt} &= f_6, & \frac{d_2 T_2}{dt} &= f_7, \end{aligned} \right\} (4)$$

где для краткости дальнейшего изложения обозначено

$$f_1 = I_{21}, \quad f_2 = \frac{1}{\rho_1} [f_{12} + f_1(u_2 - u_1)] - \xi \frac{u_1 |u_1|}{2d_1} - g \cos \theta,$$

$$f_3 = (k-1) \left[f_{12}(u_2 - u_1) + f_1 \frac{(u_2 - u_1)^2}{2} + f_1 (h_{1s} - h_1) - q_{12} - \frac{dq_1}{dx} + \xi \rho_1 \frac{u_1^2 |u_1|}{2d_1} \right],$$

$$f_4 = -\frac{f_1}{\rho_2^0}, \quad f_5 = -\frac{f_{12}}{\rho_2} - g \cos \theta,$$

$$f_6 = -\frac{1}{\rho_2 c_2} \left[f_1 (h_{1s} - h_2) - q_{12} + \frac{dq_2}{dx} \right].$$

Здесь c_2 — теплоемкость топлива,

$$k = \frac{c_p}{c_v}, \quad de_1 = c_v dT_1, \quad de_2 = c_2 dT_2.$$

Второе уравнение системы (4) представляет собой уравнение сохранения массы пара, включение его в систему позволяет уменьшить число задаваемых граничных условий. Наряду с уравнениями состояния обеих фаз (1), а также выражениями для $f_{12}, q_{12}, I_{21}, \frac{dq_1}{dx}, h_i (i=1,2)$ система дифференциальных уравнений (4) будет замкнутой.

В случае отсутствия топлива и при пренебрежении силами тяжести система (4) принимает следующий вид:

$$\frac{d_1 \rho_1}{dt} + \rho_1 \frac{\partial u_1}{\partial x} = 0, \quad \frac{d_1 u_1}{dt} + \frac{T_1}{\rho_1} \cdot \frac{\partial \rho_1}{\partial x} + \frac{\partial T_1}{\partial x} = -\xi \frac{u_1 |u_1|}{2d_1},$$

$$\rho_1 \frac{d_1 T_1}{dt} - (k-1) T_1 \frac{d_1 \rho_1}{dt} = (k-1) \left[-\frac{dq_1}{dx} + \xi \rho_1 \frac{u_1^2 |u_1|}{2d_1} \right].$$

Этой системой описывается неустановившееся неизэнтропическое одномерное движение воздушного потока.

Если дополнительно пренебречь подогревом стенок трубопровода и притоком тепла за счет работы сил трения о стенки трубопровода, то

$$\left. \begin{aligned} \frac{d_1 \rho_1}{dt} + \rho_1 \frac{\partial u_1}{\partial x} = 0, \quad \frac{d_1 u_1}{dt} + \frac{T_1}{\rho_1} \cdot \frac{\partial \rho_1}{\partial x} + \frac{\partial T_1}{\partial x} = -\xi \frac{u_1 |u_1|}{2d_1}, \\ \rho_1 \frac{d_1 T_1}{dt} - (k-1) T_1 \frac{d_1 \rho_1}{dt} = 0. \end{aligned} \right\} (5)$$

Последнее уравнение системы (5) является уравнением адиабаты Пуассона $\frac{p}{\rho_1^k} = \text{const}$ в дифференциальной форме.

Система (4) имеет четыре семейства действительных характеристик, причем линия тока паровоздушной смеси является двукратно вырожденной, а линия тока облака капелек — трехкратно вырожденной характеристиками. Уравнения направлений характеристик и характеристические соотношения вдоль них системы (4) записываются в виде

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx}{dt} = u_1 \pm a_1: \quad a_1^2 d\rho_1 + k\rho_1 dT_1 \pm k\rho_1 a_1 du_1 - (a_1^2 f_1 \pm \\ \pm \rho_1 a_1 f_2 + f_3) k dt = 0; \\ \frac{dx}{dt} = u_1: \quad k\rho_1 dT_1 - (k-1) d\rho_1 - k f_3 dt = 0, \\ \rho_1 d\rho_3 - \rho_3 d\rho_1 - (\rho_1 - \rho_3) f_4 dt = 0. \end{aligned} \right\} (6)$$

$$\left. \begin{aligned} du_2 - f_5 dt = 0, \\ \frac{dx}{dt} = u_2: \quad dT_2 - f_6 dt = 0, \\ d\alpha - (1-\alpha) \frac{\partial u_2}{\partial x} dt + f_4 dt = 0. \end{aligned} \right\} (7)$$

Здесь a_1 — скорость звука в паровоздушной смеси. Известно [1], что скорость звука в чистом газе определяется формулой

$$a_1^2 = \left(\frac{\partial p_1}{\partial p} \right)_{T_1} + \frac{\left(\frac{\partial \rho_1}{\partial T_1} \right)_p}{\left(\frac{\partial h_1}{\partial T_1} \right)_p} \left[\frac{1}{\rho_1} - \left(\frac{\partial h_1}{\partial p} \right)_{T_1} \right].$$

В рассматриваемом нами случае с учетом (1) и соотношения $h_1 = \frac{p}{\rho_1} + e_1$ безразмерная скорость звука $a_1 = \sqrt{kT_1}$. Последнее уравнение (7) хотя и содержит производную $\frac{\partial u_2}{\partial x}$ по направлению, отличному от направления линий тока капель, тем не менее позволяет определить $\frac{da}{dt}$ в каждой точке течения, если известно распределение u_2 на некоторой кривой, проходящей через эту точку и отличной от линии тока капель.

Системы (6), (7) обыкновенных дифференциальных уравнений эквивалентны системе (4). Система (5) эквивалентна следующей системе характеристических уравнений

$$\frac{dx}{dt} = u_1 \pm a_1; \quad \frac{2}{k-1} da_1 \pm du_1 \pm \xi \frac{u_1 |u_1|}{2d_1} dt = 0.$$

В качестве замыкающих соотношений используются

$$I_{21} = \frac{6(1-\alpha)}{d} \cdot \frac{[p_s(T_2) - p_3]}{\rho_2^0} k_j, \quad k_j = 2 \frac{\rho_1 \rho_2^0}{p} \frac{D}{d} (1 + 0,3Sc^{1/2} Re^{1/2}),$$

$$Sc = \frac{\mu_1}{\rho_1 D}, \quad Re = \frac{\rho_1 |u_1 - u_2| d}{\mu_1}, \quad q_{12} = (1-\alpha) \frac{k_q}{d} (T_1 - T_2),$$

$$k_q = 2 \frac{\lambda_1}{d} (1 + 0,3P_r^{1/2} Re^{1/2}), \quad P_r = \frac{c_p \mu_1}{\lambda_1},$$

$$f_{12} = -\frac{3\rho_1}{4d} C_d (1-\alpha) (u_1 - u_2) |u_1 - u_2|,$$

$$c_d = 24Re^{-1} (1 + 0,17Re^{2/3}), \quad h_{1s} - h_1 = -c_p (T_1 - T_{1s}),$$

$$h_{1s} - h_2 = c_2 (T_{1s} - T_2) + l(p), \quad \frac{dq_1}{dx} = \frac{4\alpha_1 \alpha}{d_1} \frac{[w_1 (T_1 - T_w) + w_3 (T_1 - T_2)]}{w},$$

$$\frac{dq_2}{dx} = \frac{4\alpha_2 (1-\alpha)}{d_1} \cdot \frac{[w_1 (T_2 - T_w) + w_2 (T_2 - T_1)]}{w}, \quad w_1 = \frac{2\lambda}{d_1 \ln \left(\frac{d_1 + 2b}{d_1} \right)},$$

$$w_2 = \alpha_1 \alpha, \quad w_3 = \alpha_2 (1-\alpha), \quad w = w_1 + w_2 + w_3.$$

Здесь D — коэффициент диффузии;
 μ_1 — коэффициент динамической вязкости паровоздушной смеси;
 $l(p)$ — скрытая теплота парообразования;
 α_i ($i = 1, 2$) — коэффициент теплоотдачи соответствующей фазы;
 T_w — температура наружной поверхности трубопровода;

δ — толщина стенки трубы;
 λ, λ_1 — коэффициенты теплопроводности соответственно материала трубопровода и паровоздушной смеси.

Рассмотрим схему впускного тракта карбюраторного двигателя, представленную на рис. 1. Оставляя в стороне задачу о дроблении струи топлива потоком воздуха, представляющую самостоятельный интерес, будем полагать, что на участке $a-b$ впускного тракта имеет место воздух, движение которого описывается системой уравнений (5), а на участке $b-c$ движение топливо-воздушной смеси описывается системой (4). Для систем (4), (5) решаются смешанные краевые задачи (с начальными и граничными условиями). Начальные условия определяются в результате решения задачи Коши для системы уравнений, получаемой из системы (4) исключением производных по времени. Решение смешанной краевой задачи для системы (5) на участке $a-b$ при наличии диффузора, а также граничное условие в сечении $a-a$ подробно описаны в [6; 2]. Представляет интерес получение расчетных соотношений в сечениях $b-b, c-c$ и на участке $b-c$.

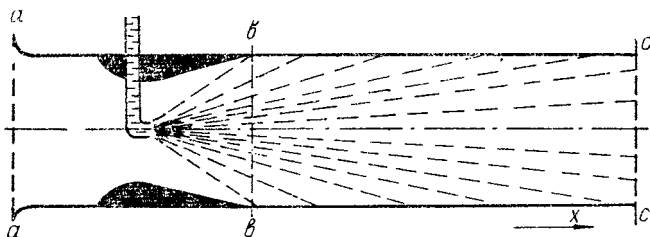


Рис. 1. Схема простейшего впускного тракта карбюраторного двигателя (дроссель полностью открыт)

Введем фиксированную сетку x, t , покрывающую всю область решения с шагами $\Delta x, \Delta t$, удовлетворяющими критерию устойчивости Куранта $\frac{\Delta t}{\Delta x} \leq \frac{1}{a_1 + |u_1|}$. Узлы сетки будем обозначать i, j , где i — номер слоя по оси x , j — номер слоя по оси t (рис. 2). Пусть на временном слое j участка $b-c$ известны значения параметров в каждом узле сетки, включая границы. Обозначим через l ($l = 1, 2, 3, 4$) точки пересечения с осью x (рис. 3) соответственно характеристик первого (I), второго (II) семейства, линий тока (III) паровоздушной смеси и линий тока (IV) облака капель, проходящих через узел $(i+1, j+1)$. Характеристики III', IV' (точки 3', 4'), являющиеся линиями тока паровоздушной смеси и капель, соответствуют отрицательным значениям скоростей u_1, u_2 . Заменяя в (6) и (7) уравнения направлений характеристик дифференци-

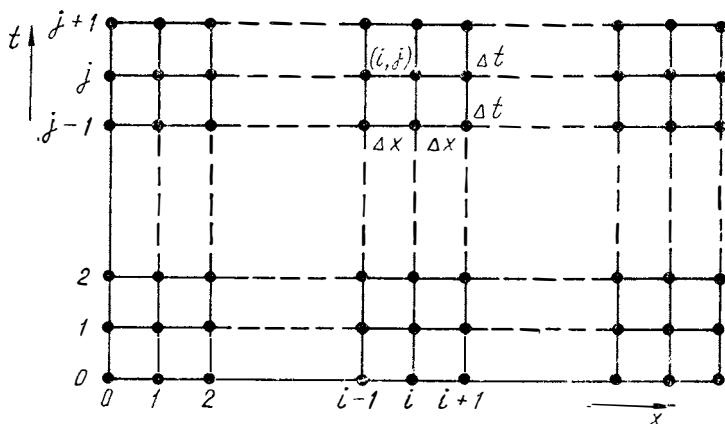


Рис. 2. Неподвижная расчетная сетка разностного решения задачи

лы разности и используя формулы линейной интерполяции для нахождения параметров в точках l , будем иметь

$$\left. \begin{aligned} \frac{\delta x_1}{\Delta t} &= u_1(1) + a_1(1), & \frac{\delta x_2}{\Delta t} &= u_1(2) - a_1(2), & \frac{\delta x_3}{\Delta t} &= u_1(3), \\ \frac{\delta x_3}{\Delta t} &= -u_1(3'), & \frac{\delta x_4}{\Delta t} &= u_2(4), & \frac{\delta x_4}{\Delta t} &= -u_2(4'). \end{aligned} \right\} (8)$$

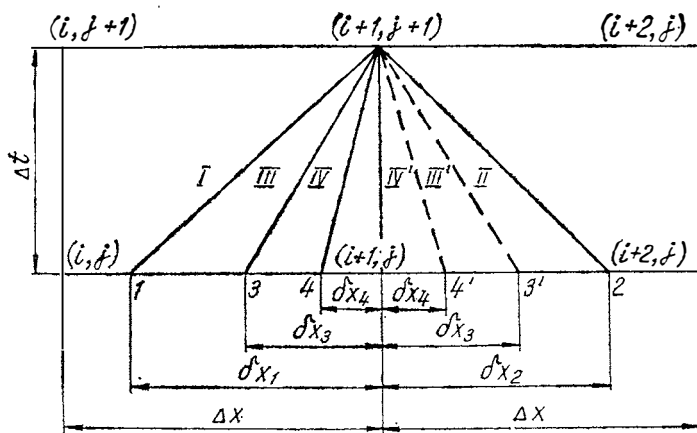


Рис. 3. К расчету параметров на временном слое $j+1$

$$\left. \begin{aligned} A(l) &= A(i+1, j) - \frac{\delta x_l}{\Delta x} [A(i+1, j) - A(i, j)], (l = 1, 3, 3'), \\ A(l) &= A(i+1, j) + \frac{\delta x_l}{\Delta x} [A(i+2, j) - A(i+1, j)], (l = 2, 4, 4'), \end{aligned} \right\} (9)$$

где A — формальный параметр.

Решая (8) и (9), куда вместо параметра A подставляем действительные параметры a_1, u_1, u_2 , найдем отношения $\frac{\delta x_l}{\Delta x}$, подставляя которые в формулы линейной интерполяции (II), определим значения всех необходимых параметров в точках l слоя j . В дальнейшем не будем делать различия между точками 3 и 3', 4 и 4'. Используя в (6) условия совместности в разностной форме, получаем систему линейных алгебраических уравнений в узле $(i+1, j+1)$ относительно неизвестных u_1, T_1, ρ_1, ρ_3 . В результате решения этой системы будем иметь

$$\left. \begin{aligned} u_1(i+1, j+1) &= \frac{1}{s} \left\{ \sum_{l=1}^3 s_l (b_{l+2} - b_{l+5}) + a_1^2(3) [s_1 \rho_1(2) - s_2 \rho_1(1)] \right\}, \\ T_1(i+1, j+1) &= \frac{1}{s} \sum_{l=1}^2 b_l [(k-1) s_l T_1(3) + s_3 T_1(l)], \\ \rho_1(i+1, j+1) &= \frac{1}{s} \sum_{l=1}^2 b_l [s_l \rho_1(3) - s_3 \rho_1(l)], \\ \rho_3(i+1, j+1) &= \frac{1}{\rho_1(3)} [\rho_3(3) \rho_1(i+1, j+1) + f_1(3) \rho_b(3) \Delta t]. \end{aligned} \right\} (10)$$

Здесь $\rho_b = \rho_1 - \rho_3$ — плотность воздуха,

$$\begin{aligned} b_1 &= a_1(2) \rho_1(2), & b_2 &= a_1(1) \rho_1(1), & b_3 &= T_1(2) \rho_1(3), & b_4 &= T_1(3) \rho_1(1), \\ b_5 &= T_1(1) \rho_1(2), & b_6 &= T_1(3) \rho_1(2), & b_7 &= T_1(1) \rho_1(3), & b_8 &= T_1(2) \rho_1(1), \\ s &= (k-1)(b_1 b_4 + b_3 b_6) + b_1 b_7 + b_2 b_3, & s_4 &= T_1(1) \rho_1(1), & s_5 &= T_1(2) \rho_1(2), \\ s_6 &= T_1(3) \rho_1(3), & s_3 &= (2-k) s_6 + f_3(3) \Delta t, \\ s_l &= 2s_{l+3} + (-1)^{l-1} b'_l u_1(l) + [a_1^2(l) f_1(l) + (-1)^{l-1} b'_l f_2(l) + f_3(l)] \Delta t, \end{aligned}$$

$$(l = 1, 2),$$

$$b'_1 = b_2, \quad b'_2 = b_1.$$

Из условий совместности в (7) сразу следует

$$\left. \begin{aligned} u_2(i+1, j+1) &= u_2(4) + f_5(4) \Delta t, \\ T_2(i+1, j+1) &= T_2(4) + f_6(4) \Delta t, \\ \alpha(i+1, j+1) &= \alpha(4) + [1 - \alpha(4)] \left(\frac{\partial u_2}{\partial x} \right)_4 \Delta t - f_4(4) \Delta t, \end{aligned} \right\} (11)$$

где
$$\left(\frac{\partial u_2}{\partial x} \right)_4 = \frac{u_2(i+1, j) - u_2(4)}{\delta x_4}.$$

При помощи соотношений (10), (11) определяются искомые параметры во всех внутренних узлах слоя $j+1$, а также параметры u_2 , T_2 , α в сечении $c-c$ слоя $j+1$. Для определения остальных параметров в сечениях $b-b$, $c-c$ необходимо задать граничные условия. Таковыми являются в сечении $b-b$ скорость капель, температура и расход топлива G_T , парциальная плотность пара; в сечении $c-c$ — скорость или давление несущего потока.

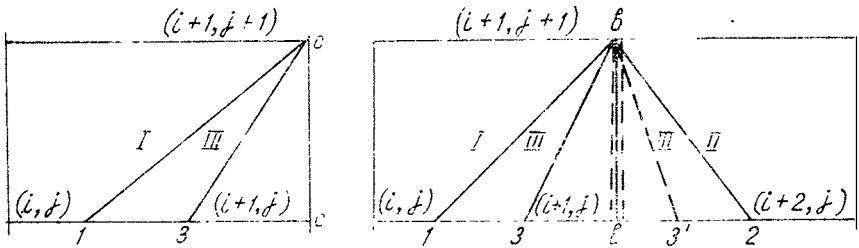


Рис. 4. К выводу расчетных соотношений в сечениях $b-b$, $c-c$

Рассмотрим сечение $b-b$ (рис. 4). Имеем

$$\left. \begin{aligned} du_1 + \frac{1}{a_b \rho_b} dp_b + \xi \frac{u_1 |u_1|}{2d_1} dt &= 0 \quad \text{вдоль (I),} \\ dp - \rho_1 a_1 du_1 - (a_1^2 f_1 - \rho_1 a_1 f_2 + f_3) dt &= 0 \quad \text{вдоль (II),} \\ \rho_a dT_1 - (k-1) \frac{p_b}{\rho_b} d\rho_b &= 0 \quad \text{вдоль (III), } u_1 \geq 0, \\ \rho_1 dT_1 - (k-1) \frac{p}{\rho_1} d\rho_1 &= 0 \quad \text{вдоль (III'), } u_1 < 0. \end{aligned} \right\} (12)$$

Здесь и далее индекс «b» относится к воздуху.

В узловых точках слоя $j+1$ левой и правой сторон сечения $b-b$ будем полагать

$$\left. \begin{aligned}
 u_1^n &= u_1^{np} = u_1(i+1, j+1), \quad T_1^n = T_1^{np} = T_1(i+1, j+1), \\
 \rho_B^n &= \rho_B^{np} = \rho_B(i+1, j+1), \\
 p_B^n &= p_B^{np} = p_B(i+1, j+1), \quad p(i+1, j+1) = p_B(i+1, \\
 &\quad j+1) + p_3(i+1, j+1), \\
 \rho_1(i+1, j+1) &= \rho_B(i+1, j+1) + \rho_3(i+1, j+1).
 \end{aligned} \right\} (13)$$

Используя (13), а также соотношение $dG_3 = f_{\text{тп}} d(u_1 \rho_3)$, переходя в (12) от дифференциалов к разностям и решая полученные таким образом системы линейных алгебраических уравнений, будем иметь

$$\left. \begin{aligned}
 u_1(i+1, j+1) &= \frac{r_8}{r_9} [s_7 \rho_1(3) + (k-1) s_8 T_1(3) + r_1 s_9], \\
 \rho_B(i+1, j+1) &= \frac{r_8 \rho_1(3) (r_4 r_5 + r_6) - r_1 r_8 [r_2 r_5 + \rho_1(2)] + r_7 s_8}{r_9}, \\
 T_1(i+1, j+1) &= \frac{(k-1) r_8 T_1(3) (r_4 r_5 + r_6) + r_1 r_8 [r_2 r_5 + T_1(2)] - r_7 s_7}{r_9}, \\
 r_7 &= 0, \quad r_8 = 1 \text{ при } u_1 \geq 0, \\
 r_7 &= (k-1) T_1(3) [\rho_3(3) - \rho_3(i+1, j+1)], \\
 r_8 &= u_1(3) \text{ при } u_1 < 0.
 \end{aligned} \right\} (14)$$

Здесь $r_1 = (2-k) s_6 + (k-1) s_3 u_1(3)$, $r_2 = \frac{1}{a_1(1)}$, $r_3 = \frac{T_1(1)}{b_2}$,

$$r_4 = g_1 + u_1(1) + \frac{2s_4}{b_2}, \quad r_5 = b_1 + T_1(2) \rho_3(2) - \frac{T_1(2)}{u_1(2)} \rho_3(i+1, j+1),$$

$$r_6 = g_2 + T_1(2) \rho_3(2) + s_5 - b_1 u_1(2), \quad s_7 = r_4 T_1(2) - r_3 r_6, \quad s_8 = r_4 \rho_1(2) - r_2 r_6,$$

$$s_9 = r_3 \rho_1(2) - r_2 T_1(2), \quad r_9 = r_8 \rho_1(3) [r_3 r_5 + T_1(2)] + (k-1) r_8 T_1(3) [r_2 r_5 + \rho_1(2)] + r_7 s_9,$$

$$g_1 = -\xi \frac{u_1(1) |u_1(1)|}{2d_1} \Delta t, \quad g_2 = [a_1^2(2) f_1(2) - b_1 f_2(2) + f_3(2)] \Delta t.$$

Объемное содержание и плотность паровоздушной смеси рассчитываются при этом по формулам

$$\alpha = 1 + \frac{G_{\text{т}} - G_3}{u_2 \rho_2^0 f_{\text{тп}}}, \quad \rho_1 = \rho_B + \rho_3, \quad G_3 = u_1 \rho_3 f_{\text{тп}}. \quad (15)$$

В сечении $c-c$ (см. рис. 4) имеем

$$dp + \rho_1 a_1 du_1 - (a_1^2 f_1 + \rho_1 a_1 f_2 + f_3) dt = 0 \text{ вдоль (I),}$$

$$dp - a_1^2 d\rho_1 - f_3 dt = 0 \text{ вдоль (III).}$$

Поступая аналогичным образом, в случае, если заданы значения скорости $u_1(i+1, j+1)$, получим

$$\left. \begin{aligned} T_1(i+1, j+1) &= \frac{s_3 T_1(1) + (k-1) g_3 T_1(3)}{(k-1) b_4 + b_7}, \\ \rho_1(i+1, j+1) &= \frac{g_3 \rho_1(3) - s_3 \rho_1(1)}{(k-1) b_4 + b_7}, \\ \rho_3(i+1, j+1) &= \frac{f_1(3) [\rho_1(3) - \rho_3(3)] \Delta t + \rho_3(3) \rho_1(i+1, j+1)}{\rho_1(3)}. \end{aligned} \right\} (16)$$

Здесь $g_3 = s_1 - a_1(1) \rho_1(1) u_1(i+1, j+1)$.

Таким образом, при помощи (10), (11), (14), (15), (16) определяются параметры $u_1, u_2, T_1, T_2, \rho_1, \rho_3, \alpha$ во всех узлах сетки участка $b-c$ впускного тракта с включением граничных узлов. Доля испарившегося топлива находится при этом из соотношения

$$z = 1 - \frac{(1 - \alpha) u_2 \rho_2^0 f_{\text{тр}}}{G_{\text{т}}}.$$

Помимо вышеперечисленных параметров в произвольном сечении впускного тракта определяются массовые расходы воздуха $G_{\text{в}}$, топлива $G_{\text{т}}$, капель G_2 , пара G_3 , а также $f_{12}, q_{12}, I_{21}, Re, Pr, Sc, \frac{dq_i}{dx}$ ($i=1,2$), давление паровоздушной смеси. Все параметры при фиксированном x являются функциями времени.

Обычно в двигателестроении роль времени t играет угол поворота коленчатого вала двигателя φ , в решаемой задаче — пульсатора*, связь между которыми устанавливается посредством соотношения

$$d\varphi = \omega dt.$$

Здесь ω — угловая скорость вращения вала, рассчитываемая по формуле $\omega = \frac{\pi n}{30}$, где n — число оборотов в минуту.

Граничное условие в сечении $c-c$ (будь то таблица скоростей или давлений в функции от φ) определяет расход воздуха во впускном тракте. На рис. 5 представлено граничное условие в сечении $c-c$ в зависимости от φ . В общем случае φ_2, φ_3 — произвольные, в частном — $\varphi_2 = \varphi_3$. Частота пульсаций ν определяется по формуле

* Модельная установка, обеспечивающая пульсации потока смеси в трубопроводе.

$$v = \frac{6n}{\varphi_3 - \varphi_1}$$

Задача решается методом последовательных приближений, где под приближением понимается цикл протяженностью $\varphi_3 - \varphi_1$ (исключая пересчеты внутри цикла). Решение при этом сходится на четвертом-пятом цикле.

На рис. 6—12 в качестве иллюстрации приведены некоторые результаты расчетов (на рис. 6—10 представлены интегральные за цикл значения параметров, на рис. 11—12 — текущие), позволяющие сделать следующие выводы.



Рис. 5. Граничные условия в сечении $c-c$

1. Качественный характер протекания параметров соответствует физическим представлениям, что подтверждает правомочность применяемой теории при расчете процессов смесеобразования.

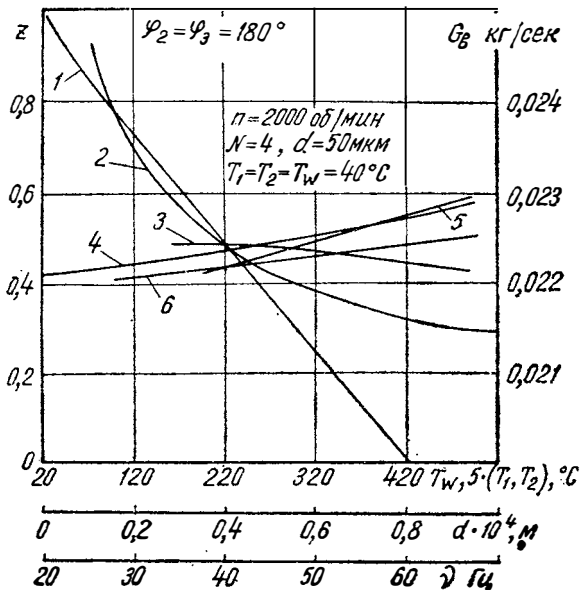


Рис. 6. Зависимость испарения топлива от: 1 — зависимость массового расхода воздуха от T_w (сечение $c-c$, $L_{TP}=0,5$ м); 2 — диаметра капель; 3 — частоты пульсаций; 4 — степени подогрева стенок впускного тракта; 5 — подогрева воздуха; 6 — подогрева топлива

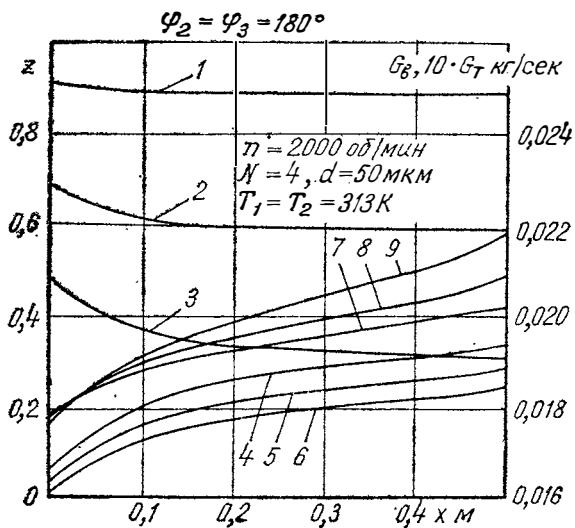


Рис. 7. Изменение параметров потока по длине впускного тракта:

1, 2, 3 — G_B ; 4, 5, 6 — G_T ; 7, 8, 9 — z соответственно при $T_w = 313, 530, 770^\circ \text{K}$

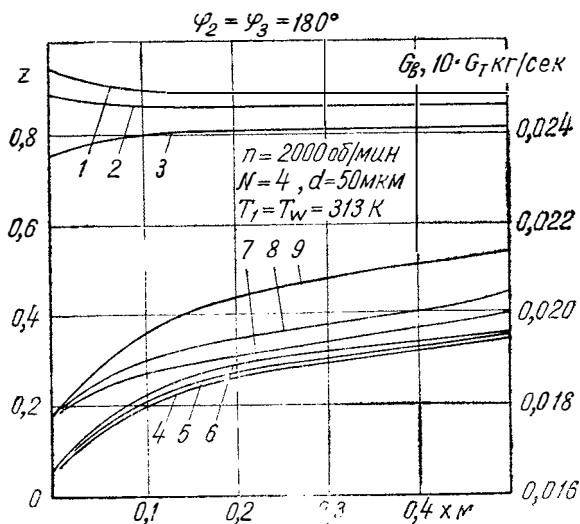


Рис. 8. Изменение параметров потока по длине впускного тракта:

1, 2, 3 — G_B ; 4, 5, 6 — G_T ; 7, 8, 9 — z соответственно при $T_s = 293, 333, 393^\circ \text{K}$

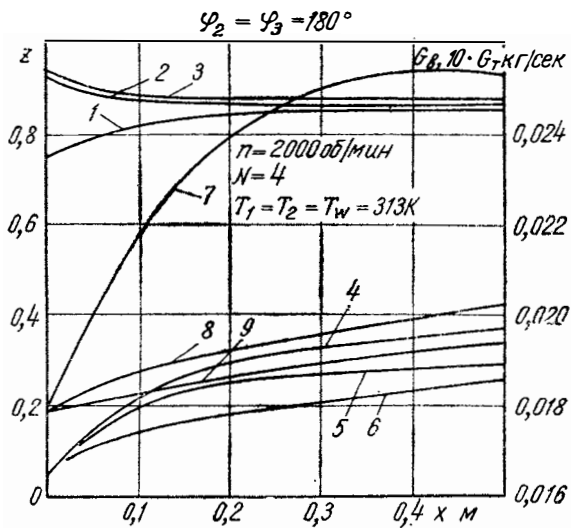


Рис. 9. Изменение параметров потока по длине впускного тракта:
1, 2, 3 — G_B ; 4, 5, 6 — G_T ; 7, 8, 9 — z соответственно при $d = 10, 50, 100 \text{ мкм}$

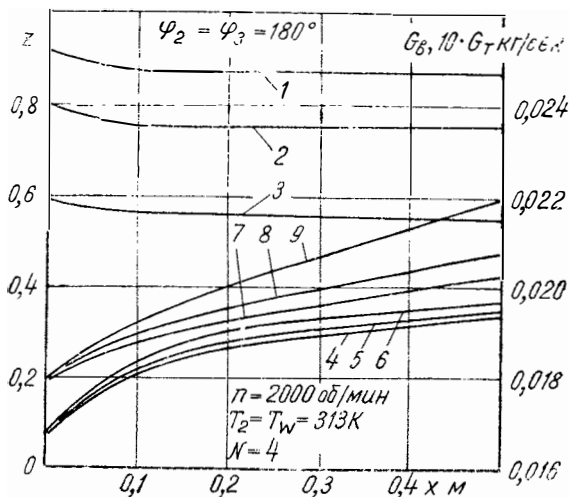


Рис. 10. Изменение параметров потока по длине впускного тракта:
1, 2, 3 — G_B ; 4, 5, 6 — G_T ; 7, 8, 9 — z соответственно при $T_1 = 313, 333, 373^\circ \text{ K}$

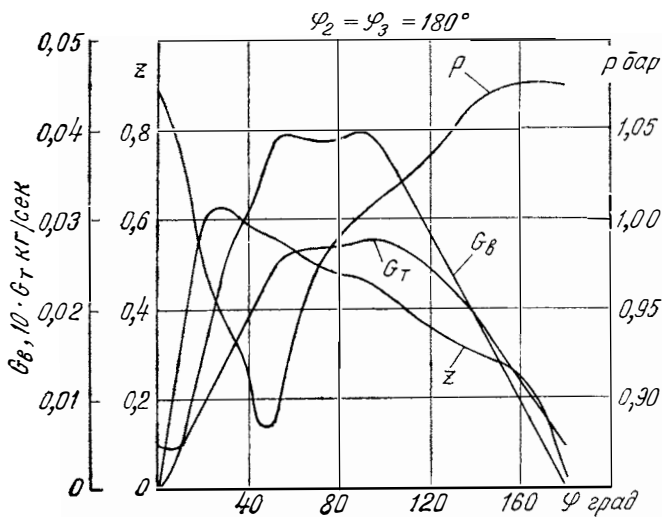


Рис. 11. Изменение параметров по углу поворота колечного вала в сечении $x=0,45$ м ($n=2000$ об/мин, $d=50$ мкм, $L_{TP}=0,5$ м, $T_1=T_2=T_w=313^\circ\text{K}$)

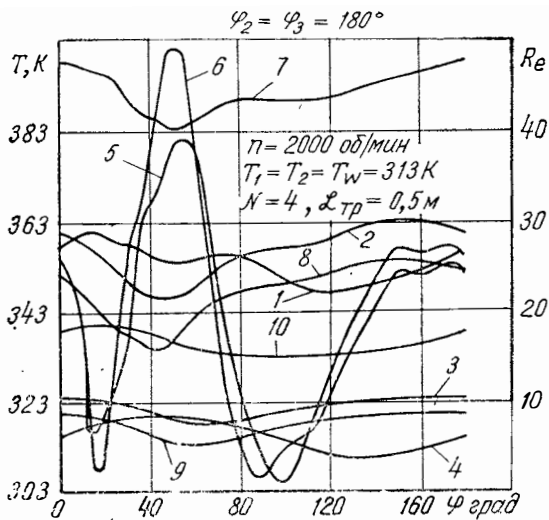


Рис. 12. Изменение параметров по углу поворота колечного вала. Сечение $x=0,25$ м; 1, 2— T_1 ; 3, 4— T_2 ; 5, 6— Re соответственно при $T_w=773^\circ\text{K}$, $T_1=373^\circ\text{K}$. Сечение $c-c$: 7, 8— T_1 ; 9, 10— T_2 соответственно при $T_w=773^\circ\text{K}$, $T_1=373^\circ\text{K}$. Фиксированные значения параметров относятся к сечению $b-b$

2. Приведенные расчеты описывают процесс смесеобразования в прямой трубе при наличии пульсатора в сечении $c-c$, либо во впускной системе двигателя с четырьмя цилиндрами ($N=4$) от сечения $a-a$ до узла разветвления в случае равномерного чередования ходов.

3. Полученные соотношения в сечении $b-b$ и на участке $b-c$ могут быть использованы при расчете процессов смесеобразования полноразмерного карбюраторного двигателя в случае отсутствия пленки на стенках трубопровода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крайко А. Н., Стернин Л. Е. К теории течений двухскоростной сплошной среды с твердыми или жидкими частицами. «Прикл. мат. и мех.», 1965, 29, № 3, 418—429.

2. Киселев Б. А., Куров Б. А. и др. Математическое моделирование газодинамических процессов во впускной системе двигателя. «Автомобильная промышленность», 1973, № 1, 8—11.

3. Нигматулин Р. И. Методы механики сплошной среды для описания многофазных смесей. «Прикл. мат. и мех.», 1970, 34, № 6, 1097—1112.

4. Нигматулин Р. И. Некоторые вопросы гидромеханики двухфазных полидисперсных систем. «Изв. АН СССР». Механ. жидкости и газа, 1968, № 3, 63—67.

5. Рахматулин Х. А. Основы газодинамики взаимопроникающих движений сжимаемых сред. «Прикл. мат. и мех.», 1956, 20, № 2, 184—195.

6. Ховах М. С., Киселев Б. А. и др. Влияние конструктивных параметров и теплового режима впускного трубопровода на наполнение дизеля с динамическим наддувом. «Автомобильная промышленность», 1971, № 9, 5—9.

7. Marble F. E. Dynamics of dusty gases. Ann. Rev. Fluid Mech., vol 2, Palo Alto Calif, 1970, 397—446; Механика. Сб. перев. и обз. иностр. период. лит., 1971.

Исследование проходных бесконтактных токосъемников индуктивного типа для измерения параметров вращающихся деталей машин. Егорычев Л. П., Помилуйко Н. С. В сб.: «Труды НАМИ», вып. 160. М., 1976, стр. 3—13.

Рассмотрена конструкция токосъемников, методика расчета и практическое применение их в эксплуатации. Приводится расчет электрических параметров токосъемника.

Представлен материал по результатам эксплуатации, характеризующий надежность работы токосъемников.

Рисунков 6. Библиографий 5.

УДК 536.5

Малогобаритные медные датчики для измерения температур при испытании автомобилей. Помилуйко Н. С., Егорычев Л. П. В сб.: «Труды НАМИ», вып. 160. М., 1976, стр. 14—21.

Приведены результаты разработки малогобаритных медных терморезисторов, предназначенных для измерения температуры в узлах и агрегатах автомобиля в условиях дорожных испытаний. Датчики работают в комплекте с температурными мостами ТМ-2, а также с другими приборами при токе не более 2—5 ма и имеют стандартную градуировку 24.

Для оценки погрешности подгонки датчиков был проведен статистический анализ распределения сопротивления выборки из 140 терморезисторов. Проведенный анализ показывает, что отклонение среднего от заданного сопротивления составляет 0,0252%. Это соответствует отклонению по температуре 0,0593°C, а с вероятностью 95,4% отклонение лежит в пределах 0,316°C.

Рисунков 3. Библиографий 2.

УДК 536.5

Многоточечный прибор для измерения температур при испытании автомобилей. Помилуйко Н. С. В сб.: «Труды НАМИ», вып. 160. М., 1976, стр. 22—36

Рассмотрен вопрос выбора типа датчика и показано, что для прибора без усилителя с микроамперметрами на 50—200 мка наиболее оптимальной является схема моста с низкоомными 70—90 ом гальванометрами на 200 мка.

Далее проведено определение температурного коэффициента датчика, рассчитана эффективная поверхность и найден допустимый ток датчика.

Кроме того, выполнен расчет измерительного моста методом графов и получена величина коэффициента передачи моста по напряжению, входная проводимость и ток гальванометра.

В заключение дано описание схемы прибора типа ТМ-М-2 (3), который широко используется в эксплуатации.

Таблиц 5. Рисунков 7. Библиографий 3.

УДК 681.327.11

Регистрирующее устройство аппаратуры многоточечного статического тензометрирования ТА—1000 на базе телетайпа СТА-М67Б. Арсеев Л. А., Кузовников О. Н. В сб.: «Труды НАМИ», вып. 160. М. 1976, стр. 37—40.

Рассмотрены принципы действия и электрическая схема блока управления, который связывает автоматический тензометрический мост и десять стоточечных переключателей тензодатчиков со стандартным телетайпом. Аппарат СТА-М67Б последовательно регистрирует номера тензодатчиков и результаты измерения по каждому из них — цифрорпечатью на телеграфной ленте, а также международным кодом на перфоленте.

Рисунков 2.

УДК 629.113.056.8

Автоматический расходомер топлива для исследования двигателей в стендовых условиях. Арсеев Л. А., Григорьев Л. С. В сб.: «Труды НАМИ», вып. 160. М., 1976, стр. 41—50.

Описано автоматическое полупроводниковое устройство, позволяющее производить измерения заданного веса топлива, времени, за которое двигатель израсходовал заданное топливо, и суммарное число оборотов коленчатого вала за это время.

Дан анализ методов измерения веса, отмечены их достоинства и недостатки и выбран способ взвешивания топлива как обеспечивающий наибольшую точность и быстродействие. Дано описание работы автоматического полупроводникового устройства и отдельных его узлов, а также рассмотрен принцип действия его при различных режимах работы.

Рисунков 2. Библиографий 5.

УДК 681.327.11

Магнитограф с преобразованием частотно-импульсного сигнала в числовой код. Воронков В. А. В сб.: «Труды НАМИ», вып. 160. М., 1976, стр. 51—62.

Рассмотрены методы преобразования сигнала, записанного на магнитную ленту в частотно-импульсной форме, в код с исключением погрешностей, обусловленных неравномерностью скорости движения ленты как при записи, так и при воспроизведении.

Показано теоретически, что предложенный метод преобразования позволяет получить на выходе магнитографа код, не содержащий ошибок за счет неравномерности скорости ленты.

Приведено описание и данные образца магнитографа, разработанного на основе предложенного метода. Приведены результаты его испытаний.

Таблиц 3. Рисунков 2. Библиографий 3.

УДК 681.327.11

Универсальный статистический анализатор АСУ-3. Воронков В. А. В сб.: «Труды НАМИ», вып. 160. М., 1976, стр. 63—83.

Рассмотрены некоторые методы статистического анализа, принципы выбора структурных схем амплитудных анализаторов.

Рассмотрены вопросы построения структурной схемы универсального амплитудного анализатора и технические требования на анализатор.

Приведено описание и данные испытаний универсального статистического амплитудного анализатора АСУ-3, разработанного на основе указанных требований и предназначенного для анализа магнитных записей и любых процессов, выраженных в электрической форме, непосредственно на автомобиле.

Таблиц 6. Рисунков 8. Библиографий 9.

УДК 621.434-44.01

К математическому моделированию процессов топливоподачи в автомобильных карбюраторах. Киселев Б. А., Кривошеев А. Г. В сб.: «Труды НАМИ», вып. 160. М., 1976, стр. 84—98.

Предлагаются три математические модели течения топлива и топливо-воздушной смеси в каналах главной дозирующей системы элементарного и эмульсионного карбюраторов, учитывающие пульсации давления, потери в местных сопротивлениях, сжимаемость смеси в распылителе. Результаты расчетов по этим моделям сопоставляются с экспериментально определенным расходом топлива. Указываются условия, необходимые для дальнейшего их совершенствования.

Рисунков 7. Библиографий 12.

УДК 621.434.013.2.534.511.4.681.14

Постановка задачи и метод расчета процессов смесеобразования во впускном тракте карбюраторного двигателя. Ибрагимов В. И., Киселев Б. А. В сб.: «Труды НАМИ», вып. 160. М., 1976, стр. 99—115.

Приводится постановка задачи о процессе смесеобразования во впускном тракте карбюраторного двигателя в условиях пульсирующего потока, причем топливо-воздушная смесь рассматривается как двухфазная среда. Благодаря физически оправданному допущению система дифференциальных уравнений в частных производных, описывающая процесс, сводится к системе гиперболического типа, для решения которой используется метод характеристик. Приводится эквивалентная исходной системе обыкновенных дифференциальных уравнений в характеристической форме, замыкающие систему уравнения, расчетные соотношения в сечении подачи топлива и на основном участке впускного трубопровода. Решается смешанная краевая задача, причем начальные условия определяются из решения задачи Коши соответствующей стационарной задачи. В заключение приводятся некоторые результаты расчетных исследований с помощью ЭВМ и делаются соответствующие выводы.

Рисунков 12. Библиографий 7.

СОДЕРЖАНИЕ

Л. П. Егорычев, Н. С. Помилуйко. Исследование проходных бесконтактных токосъемников индуктивного типа для измерения параметров вращающихся деталей машин	3
Н. С. Помилуйко, Л. П. Егорычев. Малогабаритные медные датчики для измерения температур при испытании автомобилей	14
Н. С. Помилуйко. Многоточечный прибор для измерения температур при испытании автомобилей	22
Л. А. Арсеев, О. Н. Кузовников. Регистрирующее устройство аппаратуры многоточечного статического тензометрирования ТА-1000 на базе телетайпа СТА-М67Б	37
Л. А. Арсеев, Л. С. Григорьев. Автоматический расходомер топлива для исследования двигателей в стендовых условиях	41
В. А. Воронков. Магнитограф с преобразованием частотно-импульсного сигнала в числовой код	51
В. А. Воронков. Универсальный статистический анализатор АСУ-3	63
Б. А. Киселев, А. Г. Кривошеев. К математическому моделированию процессов топливоподачи в автомобильных карбюраторах	84
В. И. Ибрагимов, Б. А. Киселев. Постановка задачи и метод расчета процессов смесеобразования во впускном тракте карбюраторного двигателя	99
Рефераты статей	117

Труды НАМИ, вып. 160

ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА, ПРИМЕНЕНИЕ ЭВМ
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И РАСЧЕТОВ АВТОМОБИЛЕЙ И ДВИГАТЕЛЕЙ

Ответственный редактор И. С. Лунев

Научные редакторы: В. И. Ибрагимов, М. В. Колмаков, В. И. Сергеев, М. С. Ховах,
В. М. Семенов

Редактор Н. П. Шаулина

Технический редактор С. М. Печникова

Корректоры: Р. М. Журавлева, Т. Н. Устинова

Л 134712. Подп. к печ. 14/IX-76 г. Форм. бум. 60×90/16. Печ. л. 7,75

Уч.-изд. л. 7,76. Зак. 1077-75 г. Тир. 900. Цена 54 коп.

Типография НАМИ, 125438, Москва, А-438, Автомоторная ул., 2

Цена 54 коп.