

Министерство образования Республики Беларусь  
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

---

---

Кафедра «Гидропневмоавтоматика и гидропневмопривод»

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ  
(Практикум)  
по дисциплине  
«Исследование и испытание гидропневмосистем»  
для студентов специальности  
1-36.01.07 «Гидропневмосистемы мобильных  
и технологических машин»

Минск 2004

УДК 621-52.523(076.5)

ББК 32.965.2

Л 12

Составители:  
Ф.К.Кравец, И.А.Маковская

Рецензент М.С.Лебедев

В издании освещены вопросы устройства и принципа действия измерительно-регистрирующей аппаратуры, применяемой при исследовании гидropневмосистем мобильных и технологических машин. Приведено описание лабораторных установок и изложены методики испытаний, которые используются при выполнении лабораторных работ.

© Кравец Ф.К., Маковская И.А.,  
составление, 2004

## **ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ**

При выполнении лабораторных работ каждый студент обязан строго соблюдать следующие правила техники безопасности:

1. Включение измерительно-регистрирующего прибора в электросеть следует производить только в присутствии преподавателя (лаборанта).

2. При обнаружении неисправностей приборов необходимо немедленно прекратить работу и доложить об этом руководителю.

3. В случае перерыва в работе прибор должен отключаться от источника электропитания.

4. Устранять обнаруженные неисправности необходимо под наблюдением руководителя занятий.

5. Запрещается бесцельно крутить ручки управления приборов, нажимать кнопки, снимать крышки люков приборов.

6. По окончании работы следует обесточить потребители тока, выключить тумблеры электроприборов.

7. **КАТЕГОРИЧЕСКИ ЗАПРЕЩАЕТСЯ:**

- пользоваться неисправными приборами и инструментом;
- прикасаться руками к оголенным проводам и токонесущим частям, находящимся под напряжением;
- оставлять без присмотра включенные электроприборы и оборудование;
- выполнять на работающих приборах регулирование, наладку, смазочные и другие работы без выключения их и полной остановки вращающихся деталей.

8. В случае травмы следует немедленно выключить прибор (установку), вызвать при необходимости врача и до его прихода оказывать помощь пострадавшему.

### *Лабораторная работа № 1*

## **КОНСТРУКЦИЯ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ОСЦИЛЛОГРАФА**

### **Цель работы**

1. Изучить конструкцию и принцип действия светолучевого осциллографа.

2. Ознакомиться с правилами подготовки осциллографа к работе и с методами записи.

### **Назначение, устройство и принцип действия светолучевого осциллографа**

Осциллографы, у которых пишущим органом является световой луч, называются светолучевыми.

Светолучевой осциллограф представляет собой прибор, преобразующий электрические колебания низкой частоты в соответствующие им колебания светового луча, изображение которого фиксируется на равномерно движущейся светочувствительной бумаге или на пленке в виде кривых, отображающих исследуемые процессы. Число одновременно анализируемых процессов (каналов) может быть более 20 (их количество определяется числом гальванометров).

Осциллограф состоит из пяти функциональных устройств:

- 1) гальванометра, преобразующего с помощью подвижного зеркала колебания электрического сигнала в колебания светового луча;
- 2) оптической системы для образования и передачи светового луча на зеркальце гальванометра и от него на светочувствительную бумагу (пленку);
- 3) лентопотяжного механизма с кассетой для светочувствительной бумаги;
- 4) устройства отметки времени на фотобумаге;
- 5) механизма развертки для визуального анализа характеристики исследуемого процесса.

В светолучевом осциллографе (рис. 1.1) луч света от лампы 3, пройдя через линзу 4 конденсатора и линзу 10, попадает на зеркальце 11 гальванометра. От зеркальца луч через линзу 10 и 16 отражается на движущуюся светочувствительную бумагу 2, намотанную на кассету 1.

Скорость движения бумаги (пленки) можно изменять с помощью коробки скоростей. Часть светового луча, идущего от гальванометра, отсекается зеркальцем 15, проходит через линзу 9 и попадает на вращающийся зеркальный барабан 8 механизма развертки. От граней барабана луч отражается на цилиндрический матовый экран 7 и дает на нем изображение характеристики исследуемого процесса, которое можно наблюдать в зеркале 5 через окно 6 в корпусе осциллографа.



2) по конструкции подвижной части (петлевые с подвижной частью в виде проволочной петли; рамочные с подвижной частью в виде рамки, подвешенной на растяжках);

3) по виду успокоения (четыре группы: с жидкостным успокоением, магнитоиндукционным, каркасным, комбинированным).

Устройство петлевого гальванометра (рис. 1.2, а) следующее. В узком зазоре сильного постоянного магнита 4 помещена бифилярная петля 2 из проволочной нити толщиной в несколько сотых долей миллиметра. Нити петли расположены на близком расстоянии одна от другой и с обоих концов опираются на призмы 1 из изоляционного материала. Концы нити припаяны к контактам 5. Со стороны петли нити натягивает пружина 6. Посередине к нитям приклеено зеркальце 3 площадью около  $1 \text{ мм}^2$ . Петля вместе с зеркальцем образуют подвижную систему гальванометра.

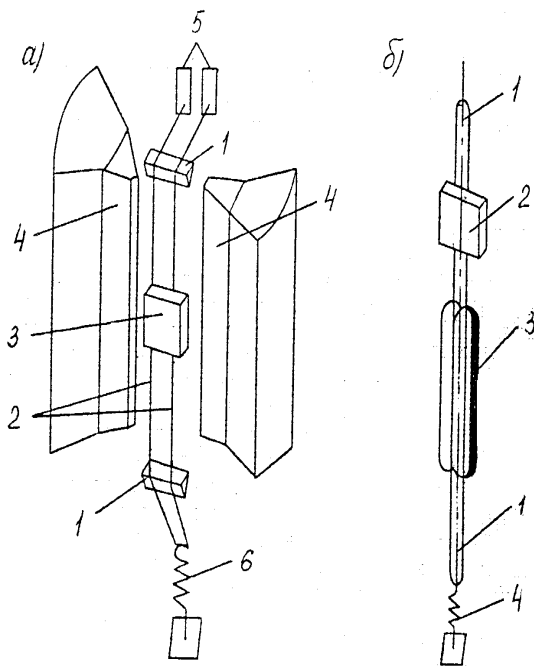


Рис. 1.2. Устройство магнитоэлектрических гальванометров:  
а – петлевого; б – рамочного

Если через петлю пропустить электрический ток, то в результате взаимодействия электромагнитного поля нитей петли с полем, создаваемым постоянным магнитом, появляется вращательный момент, поворачивающий зеркальце на угол, соответствующий значению протекающего тока. Повороту подвижной системы противодействует момент, определяемый жесткостью нитей петли.

Внутри герметичного цилиндрического корпуса рамочного гальванометра (рис. 1.2, б) на бронзовой растяжке 1, закрепленной в корпусе, прикреплена очень легкая миниатюрная рамка 3, на которую намотано от 1,5 (в высокочастотных гальванометрах) до 500 (в низкочастотных высокочувствительных гальванометрах) витков медного изолированного провода. Натяжение растяжки обеспечивается пружиной 4. К верхней части растяжки приклеено зеркальце 2. В корпусе гальванометра напротив зеркальца имеется отверстие для прохода светового луча, в которое вставлена плоско-выпуклая линза.

При выборе типа гальванометра для регистрации исследуемого процесса необходимо руководствоваться следующими основными принципами.

Гальванометр выбирают так, чтобы верхняя граница его частотного диапазона была в 10 раз больше частоты основной гармонической составляющей регистрируемого процесса. В этом случае амплитудная погрешность будет составлять не более 1 %.

### **Технические данные светолучевого осциллографа Н 117**

Осциллограф предназначен для одновременной регистрации до 12 процессов изменения во времени электрических величин (тока или напряжения) и неэлектрических величин, преобразованных в электрические.

Запись осциллографа производится на фотобумаге УФ, не требующей химического проявления, и на термосеребряной пленке.

Число каналов – 12.

Ширина фотоленты: 36, 60, 100, 120 мм.

Емкость кассеты – 25 м. Кассета имеет стрелочный указатель записи фотоленты, показывающий (в процентах) количество неизрасходованной фотоленты от полного объема рулона, и нож для отрезки экспонированной части рулона фотоленты.

Скорость движения фотоленты: 0,5; 1,25; 2,5; 5; 10; 25; 50; 125; 250; 500; 1000; 2500; 5000; 10000 мм/с.

Допустимые отклонения скоростей  $\pm 15\%$  от номинального.

Отметчик времени оптико-механический с интервалом между основными отметками: 2; 0,2; 0,02; 0,002 с.

Каждая десятая отметка имеет увеличенную ширину. Переключение частот отметок заблокировано с переключением скоростей.

В осциллографе применяются рамочные гальванометры с диапазоном регистрируемых частот от 0 до 15 кГц.

Источник света – ртутная лампа ДРШ 100-2, лампы накаливания ОП 6,8-11,5 и ОП 7-0,5.

Предельная скорость записи:

- 2000 мм/с при записи на фотобумагу УФ-67 и при использовании в качестве источника света ламп ДРШ 100-2;

- 2600 мм/с при записи на осциллографную фотобумагу чувствительностью 1000;

- 180 м/с при записи на осциллографную фотобумагу чувствительностью 1000 при использовании в качестве источника света лампы ОП 6,8-11,5.

Питание от сети 220 В, 50 Гц.

Потребляемая мощность – 450 Вт с ртутной лампой и 250 Вт с лампой накаливания.

Масса осциллографа с кассетой – 33 кг.

Масса блока питания П 133 – 17 кг.

В осциллографе предусмотрены:

- ограничение длины осциллограммы в пределах от 0,1 до 4 м;
- продольное графление фотоленты; линии наносятся через 2 мм, каждая пятая имеет увеличенную ширину;
- сигнализация окончания фотоленты в кассете;
- управление внешней схемой;
- сигнализация движения фотоленты в кассете;
- полное дистанционное управление.

### **Подготовка осциллографа к работе и получение осциллограммы**

1. Установить переключатель напряжения на панели блока питания в положение, соответствующее напряжению в сети.



2. Соединить кабелем блок питания с осциллографом.
  3. Установить в выключенное положение все тумблеры на панели управления (рис. 1.3) и заземлить корпус осциллографа.
  4. При использовании осветителя с ртутной лампой подключать осциллограф к сети необходимо через блок питания П 133 (колебание напряжения сети допускается в пределах  $\pm 5\%$ ). При записи осциллограмм на обычную фотоленту с применением осветителя с лампой накаливания осциллограф к сети можно подключать непосредственно, если напряжение сети равно 220 В, или через блок питания, при этом колебание напряжения не должно превышать 5–10 %.
  5. Включить тумблер «Питание». При этом должна загореться индикаторная лампа на панели осциллографа, и начнет работать двигатель вентилятора, если в осциллографе установлен осветитель с ртутной лампой.
  6. Включить термостатирующее устройство. При включении тумблера «Термостат» на панели управления осциллографа загорается красная сигнальная лампа. Первое автоматическое отключение сигнальной лампы «Термостат» означает, что температура магнитного блока достигла заданного значения и можно проводить съемку. В процессе работы осциллографа сигнальная лампа «Термостат» периодически включается и выключается, поддерживая температуру магнитного блока в заданных пределах.
  7. Установить скорость перемещения фотоленты. Для получения требуемой скорости необходимо проверить положение ремня на шкивах вала двигателя и вала коробки скоростей (сняв заднюю боковую крышку осциллографа). На панели управления осциллографа изображены два положения ремня: с обозначением «X1» (левое) и с обозначением «X2» (правое). Нижний по схеме шкив – на валу двигателя, верхний – на валу коробки скоростей.
- Если запись осциллограмм будет производиться в диапазоне скоростей перемещения фотоленты от 0,5 до 5000 мм/с, то ремень должен находиться в положении, которое изображено на панели управления и обозначено «X1». Это основное положение ремня. Во второе положение, обозначенное на панели «X2», ремень устанавливается только в том случае, если для осциллографирования требуется скорость перемещения фотоленты 10000 мм/с.

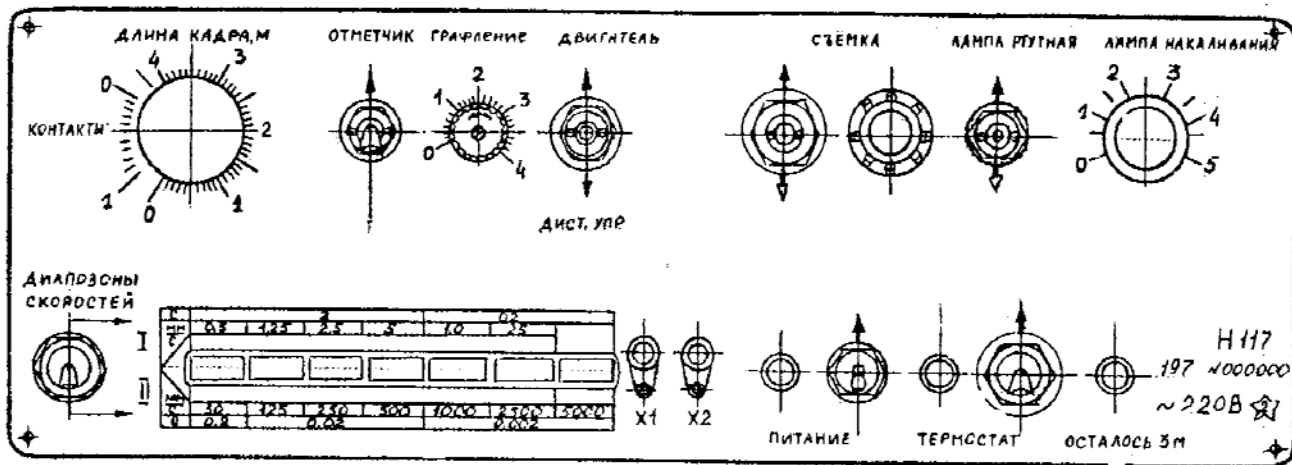


Рис. 1.3. Панель осциллографа H 117

При несоблюдении этого условия скорость перемещения фотоленты во время осциллографирования не будет соответствовать скорости, указанной на панели управления.

Перевод ремня с одной пары шкивов на другую производится вручную при выключенном тумблере «Двигатель». После проверки правильности положения ремня установку требуемой скорости производят кнопочным переключателем коробки скоростей как при остановленном двигателе, так и на ходу во время осциллографирования. Частота отметок времени определяется скоростью перемещения фотоленты и переключается одновременно с последней. Двигатели отметчика времени включаются тумблером «Отметчик» и тумблером «Двигатель», т.е. они работают только при включенном двигателе лентопротяжного механизма.

Соотношения частот отметок времени и скоростей перемещения фотоленты приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Скорость фотоленты, мм/с	Интервал времени между отметками, с	Частота отметок, Гц	Расстояние между отметками, мм
0,5 1,25 2,5	2	0,5	1 2,5 10
10 25 50	0,2	5	2 5 10
125 250 500	0,02	50	2,5 5 10
1000 2500 5000 10000	0,002	500	2 5 10

8. Включение и выключение ртутной лампы производится при помощи переключателя «Лампа ртутная». Он имеет два положения рукоятки «Включено»: одно – фиксированное «↑», другое – нефиксированное «↓».

Если рукоятка переключателя установлена в фиксированное положение «↑», то лампа загорается автоматически при включении напряжения питания. Нормальный режим горения лампы наступает через 3–5 мин. после ее зажигания. Выключение ртутной лампы производится одновременно с отключением сети тумблером «Питание». Повторное зажигание ртутной лампы можно производить не раньше, чем через 3–5 мин после ее выключения. При этом следует помнить, что частое выключение и включение ртутной лампы сокращает срок ее службы. Поэтому если в процессе регистрации образуется перерыв в пределах 1–1,5 часа, то лампу не следует выключать.

9. Выбор гальванометров. Осциллограф укомплектован набором гальванометров различных типов, данные о которых приведены в паспортах гальванометров и инструкции по эксплуатации осциллографа.

При работе с осциллографом рекомендуется выбирать гальванометры такого типа, чтобы граница их рабочей полосы частот была не ниже максимальной частоты исследуемого процесса. На ручках указана их собственная частота.

При работе с гальванометрами необходимо помнить, что превышение наибольшего рабочего тока, указанного в технической характеристике на гальванометры, может привести к их порче.

10. Установка и регулирование положения гальванометров в магнитном блоке:

- открыть крышку отсека блока гальванометров;
- установить гальванометры в гнезде магнитного блока. После этого необходимо отрегулировать их положение. Регулирование производится следующим образом:

- отожмите вверх до упора рычаг откидного зеркала, расположенный на стенке отсека блока гальванометров; одной рукой удерживайте рычаг, а другой с помощью специального ключа отрегулируйте положение гальванометров;

- поверните гальванометр в гнезде вокруг его продольной оси и перемещайте вместе с вкладышем в вертикальной плоскости. В результате регулирования на экране должны появиться световые яркие штрихи (пятна). Штрихи расположите на экране осциллографа напротив регулируемого гальванометра. Наклоняя гальванометр, добейтесь того, чтобы световые штрихи от его зеркала на экране были примерно одинаковой длины;

- опустите рычаг откидного зеркала. На экране должно остаться световое пятно от зеркала гальванометра. Вращая гальванометр в гнезде вокруг его продольной оси, установите световое пятно от его зеркала в требуемую точку шкалы.

- зафиксируйте положение гальванометра, подожмите с помощью специального ключа фиксирующий винт. Сильно зажимать гальванометр в гнезде нельзя. Это может привести к поломке вкладыша и гальванометра.

11. Регулирование освещенности фотоленты. Яркость ртутной лампы не регулируется, поэтому при записи на ультрафиолетовой бумаге регулирование освещенности от зеркал гальванометров и от зеркала отметчика времени производится частичным перекрытием светового луча с помощью раздвижной шторки. Рычаг управления шторкой и шкала расположены на вертикальной стенке панели управления.

Для изменения яркости лампы накаливания служит регулируемый резистор на панели управления. Шкала регулируемого резистора имеет числовые значения в условных единицах от 0 до 5. При повороте ручки регулируемого резистора по часовой стрелке накал лампы возрастает, а соответственно увеличивается и освещенность фотоленты.

Регулирование интенсивности записи линий продольного графления на осциллограмме осуществляется с помощью диафрагмы, управление которой выведено на панель осциллографа. На панели управления находится ручка «Графление» и шкала с делениями в условных единицах от 0 до 4. Положение ручки «Графление» подбирается так, чтобы линии графления на осциллограмме получались тонкие, четкие и несколько слабее, чем от исследуемого процесса.

12. Зарядка фотоленты в кассету. Если регистрация проводится на скоростях фотоленты не выше 2500 мм/с, то кассету можно зарядить полным рулоном – 25 м. При регистрации на скоростях перемещения фотоленты 5000 и 10000 мм/с в кассету закладывают отрезок фотоленты 2,5 м и не устанавливают приемный вал. Фотолента в рулоне должна быть намотана эмульсией внутрь. Зарядку фотобумаги УФ-67 можно производить при неярком солнечном или искусственном освещении. Обычная фотолента, требующая химического проявления, должна заряжаться в темноте или при слабом темно-красном свете.

Кассету, заряженную обычной фотолентой, не держите при ярком свете, так как первый виток может засветиться. Покрывайте

кассету темной плотной тканью, как снятую, так и установленную на осциллографе.

Зарядку кассеты проводят следующим образом:

- вставить зарядный вал кассеты внутрь рулона. Ограничительные щеки установить соответственно ширине фотоленты;

- конец фотоленты обрезать в виде треугольника и закрепить в прорези приемного вала;

- установить рулон и приемный вал в соответствующие отсеки кассеты. Фотолента должна плотно облегать ведущий вал; эмульсионная сторона должна быть сверху;

- закрыть крышку кассеты и сделать 1–2 оборота шестерни по ходу фотоленты, которая должна вращаться легко, без заеданий.

При осциллографировании на фотоленту с химическим проявлением на скоростях перемещения 5000 и 10000 мм/с приемный вал в кассету не ставится, а экспонированная фотолента заполняет приемный отсек. Если при осциллографировании на фотобумагу УФ-67 нет необходимости сматывать экспонированную часть в рулон, то приемный вал в кассету не ставят, а конец фотоленты при зарядке кассеты выводят наружу через окно кассеты. После зарядки необходимо вытянуть из кассеты 150–200 мм фотоленты, чтобы проверить отсутствие перекоса зарядного вала и фотоленты. Фотолента должна выходить из кассеты под небольшим усилием.

13. Съемка. Установить требуемую скорость движения фотоленты кнопочным переключателем, для чего:

- включить двигатель привода переключателем «Двигатель».

При работе со скоростью движения фотоленты 10000 мм/с перед включением двигателя ручку тумблера «Диапазоны скоростей» устанавливают в положение «I». После запуска движения ручка тумблера устанавливается в положение «II» и поочередным нажатием (начиная с меньшей скорости) включается скорость 10000 мм/с;

- включить тумблер «Отметчик», если на осциллограмму должны быть нанесены отметки времени;

- установить ручку «Графление» в соответствии с требуемой плотностью черчения линий графления, если на осциллограмме необходимо иметь линии продольного графления;

- установить требуемую длину осциллограммы (кадра) рукояткой «Длина кадра». Шкала длин кадров градуирована в метрах. Ес-

ли длина осциллограммы не должна автоматически ограничиваться, то указатель рукоятки устанавливают до упора (на отметку «∞»);

- установить кассету в осциллограф по направляющим до упора и проверить ее фиксацию в рабочем положении;

- нажать ручку переключателя «Съемка» в направлении стрелки «↑», если съемка будет продолжительной, или в направлении стрелки «↓» при кратковременной съемке;

- по окончании съемки кассету снимают с осциллографа, предварительно оттянув на ней фиксатор-зашелку;

- при съемках на фотобумагу УФ-67 экспонированную часть рулона отрезают. Для отрезки осциллограммы необходимо повернуть по часовой стрелке головку ножа, расположенную на кассете, и вытянуть шток, затем вернуть шток в исходное положение.

14. Проявление осциллограмм и их хранение. Осциллограмма, полученная на фотобумаге УФ, проявляется при освещенности 200–500 лк. В этом случае проявление будет длиться около 1 мин. Для ускорения процесса проявления используют лампы накаливания. Лампу мощностью 60–100 Вт располагают на расстоянии 200–500 мм над осциллограммой. Первые следы линий проявляются через 20–40 с, окончательное проявление произойдет через 3–5 мин. Хранить осциллограмму следует в темном месте, например в ящике стола.

Работать с осциллограммами можно при рассеянном свете, но через несколько часов освещения фон приобретает красноватый оттенок и контрастность линий пропадает. Осциллограмму нельзя освещать прямым солнечным светом, так как она сразу темнеет и линии становятся невидимыми.

Проявление осциллограмм, экспонированных на бромистую фотобумагу, осуществляется химико-фотографическим способом с использованием стандартных проявителя и фиксажа в темноте.

### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Принципиальная оптическая схема осциллографа.
3. Схемы согласования сопротивления гальванометра с сопротивлением внешней цепи.

## **Контрольные вопросы**

1. Какие осциллографы называются светолучевыми?
2. Для чего предназначен светолучевой осциллограф?
3. Из каких функциональных устройств состоит осциллограф?
4. Принцип работы светолучевого осциллографа.
5. Для чего предназначен гальванометр?
6. По каким признакам классифицируют магнитоэлектрические гальванометры?
7. Расскажите об устройстве петлевого гальванометра и принципе его работы.
8. Расскажите об устройстве и принципе работы рамочного гальванометра.
9. Как производится выбор гальванометров?

## *Лабораторная работа № 2*

### **ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ НЕЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН В ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ**

#### **Цель работы**

1. Изучить конструкцию и принцип действия преобразователей неэлектрических величин в электрические.
2. Ознакомиться со схемами подключения преобразователей (датчиков) различных типов к измерительно-регистрающей аппаратуре.
3. Изучить способы тарировки преобразователей и методику обработки тарировочных данных.

#### **Общие сведения**

Под преобразователем понимается устройство, предназначенное для первичного преобразования измеряемой неэлектрической величины в связанную с ней функциональной зависимостью электрическую величину.

Преобразователи классифицируются по различным признакам. По назначению различают преобразователи механических, тепло-



вых, акустических, световых, химических и других величин. При испытаниях гидропневмомашин и гидропневмоприводов наибольшее распространение получили преобразователи механических величин – перемещений, скоростей, ускорений, сил, давлений, напряжений.

По принципу преобразования измеряемой неэлектрической величины в электрическую различают генераторные преобразователи, в которых измеряемая неэлектрическая величина преобразуется в ЭДС или силу тока, и параметрические преобразователи, где неэлектрическая величина обуславливает изменение одного или нескольких параметров электрической цепи (сопротивление, емкость, индуктивность, взаимоиндуктивность).

### **Устройство, принцип действия преобразователей и их включение в электрические цепи**

Для измерения давления рабочей среды (жидкости или газа) часто используют диафрагменные потенциометрические датчики типа ПЭ–10, ПЭ–15, ПЭ–25 и др. Схема включения датчика давления в измерительную цепь показана на рис. 2.1, а. Принцип действия схемы заключается в следующем. При изменении давления  $p_{вх}$  в полости А датчика 1 изменяется соответственно положение диафрагмы 2, и происходит перемещение подвижного контакта 3 по неподвижному 4. Вследствие этого изменяется ток в цепи гальванометра 5 и миллиамперметра 6, что приводит к разбалансировке моста, а следовательно к изменению положения луча гальванометра и стрелки измерительного прибора. Таким образом происходит преобразование механической величины (перемещение диафрагмы) в электрическую. Последняя фиксируется с помощью измерительного или регистрирующего прибора в соответствии с изменением давления на входе датчика. Величина сигнала, поступающего на гальванометр 5, регулируется сопротивлением R2.

Для измерения угловых перемещений на практике часто используют потенциометрические датчики типа МУ-615. Схема включения датчика перемещения в измерительную цепь показана на рис. 2.1, б. Преобразование механической величины в электрическую происходит следующим образом. При перемещении подвижного контакта 2 датчика 1, кинематически связанного с перемещающейся деталью, по неподвижному 3 происходит изменение тока в цепи гальванометра 4, что приводит к разбалансировке моста, а следовательно и к измене-

нию положения луча гальванометра или стрелки измерительного прибора 5. Таким образом величина углового перемещения записывается на фотобумагу осциллографа или измеряется стрелочным прибором. Аналогично можно измерить и линейное перемещение.

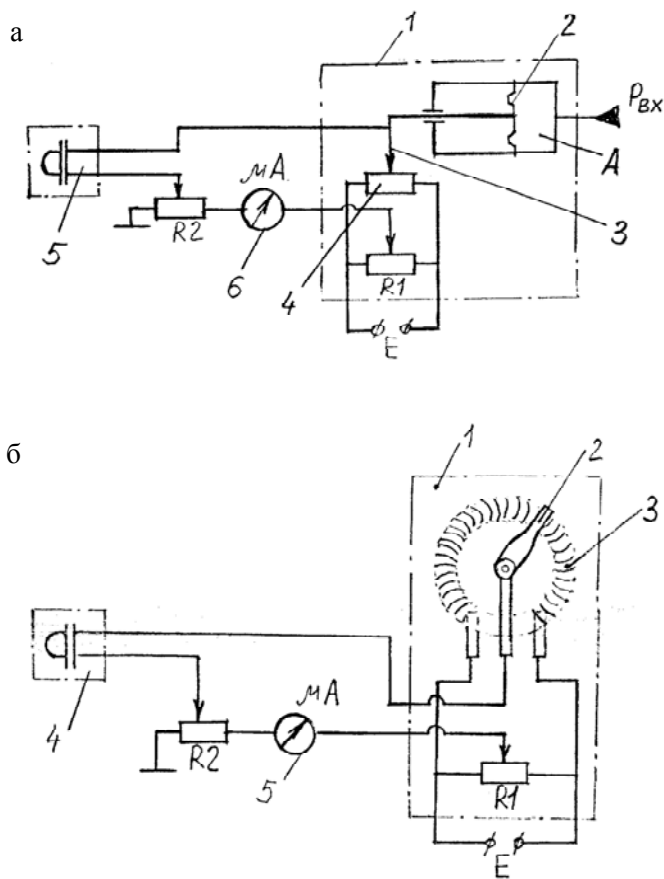


Рис. 2.1. Электрическая схема включения датчиков:  
а – давления; б – перемещения

Для измерения угловой скорости и получения сигнала в аналоговом виде используют тахогенераторы. Схема включения тахогенератора в измерительную цепь представлена на рис. 2.2. Электрический сигнал от тахогенератора, ротор которого соединен с вращающейся деталью, поступает в преобразователь, а затем в измеритель-

ную цепь (к гальванометру). Величина выходного сигнала, поступающего от преобразователя в измерительную цепь, может регулироваться с помощью потенциометра R. Подключение преобразователя к измерительной цепи осуществляется выключателем ВК.

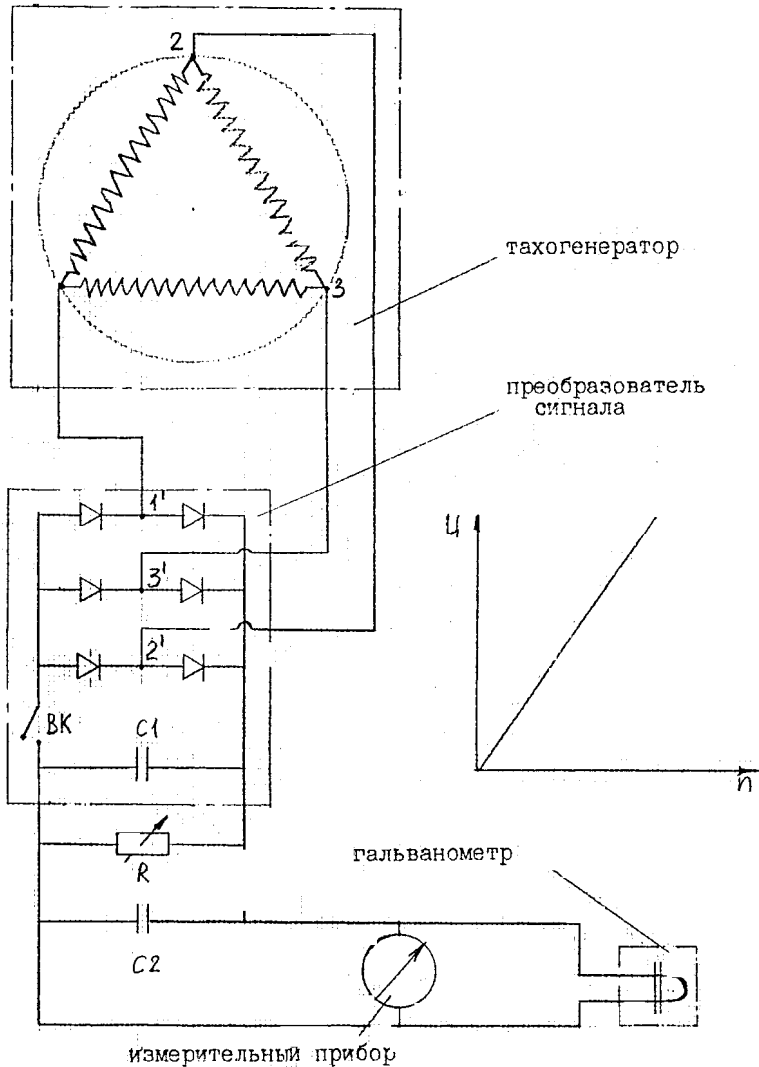


Рис.2.2. Схема включения тахогенератора в измерительную цепь

Измерение частоты вращения производят с помощью электромагнитного (индукционного) или фотоэлектрического преобразователя (рис. 2.3), импульсный сигнал от которых поступает на частотомер или гальванометр.

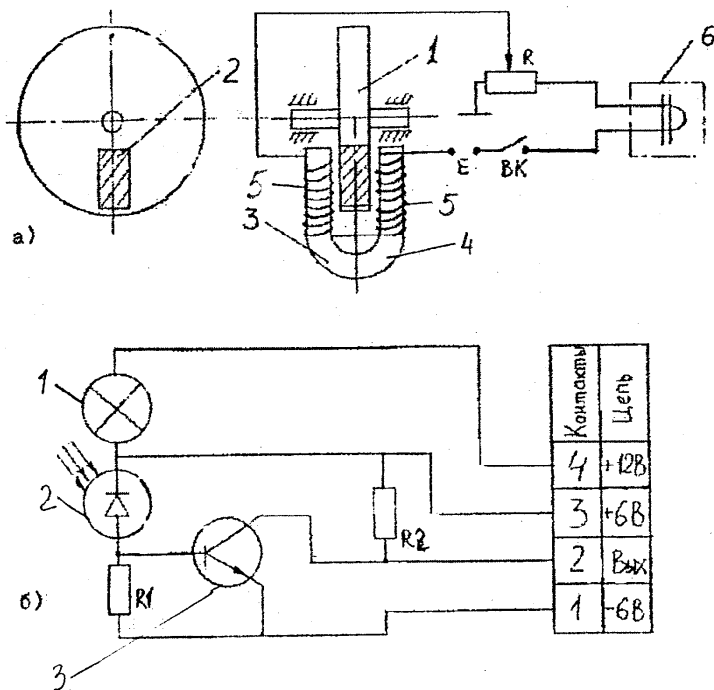


Рис. 2.3. Схемы включения электромагнитного (а) и фотоэлектрического (б) преобразователей в измерительную цепь

На рис. 2.3, а показана схема включения электромагнитного преобразователя в измерительную цепь. Схема содержит диск 1, жестко закрепленный на валу. Диск выполнен из диэлектрического материала и имеет металлический проводник 2. По обе стороны диска расположены магнитные контакты 3 и 4, которые являются сердечниками катушек 5. Выходы катушек подключены к источнику питания E и гальванометру 6 (или счетчику импульсов – частотомеру).

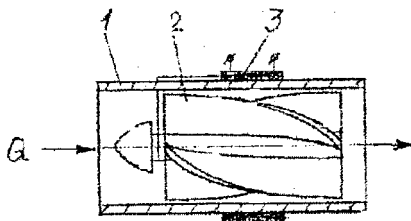
При вращении диска 1 за один оборот происходит замыкание контактов 3 и 4 на участке проводника 2. Таким образом возникают импульсы электрического тока, частота следования которых про-

порциональна частоте вращения. Величина сигнала, поступающего к гальванометру (частотомеру), регулируется переменным сопротивлением R.

Фотоэлектрический преобразователь импульсов состоит из следующих основных элементов (рис. 2.3, б): источника светового потока – лампы накаливания 1; чувствительного элемента – фотодиода 2 и формирователя сигнала – транзистора 3. (Фотодиод включен в схему с внешним источником питания 6 В). В комплект преобразователя входит металлический диск (шторка с рядом отверстий для прохождения светового потока). Преобразователь располагают на кронштейне таким образом, чтобы диск находился между лампой 1 и фотодиодом 2.

Преобразователь работает следующим образом. Сфокусированный световой поток от лампы направляется на вращающийся диск. Пока нет отверстий сопротивление затемненного фотодиода велико и ток  $I_{\phi}$  почти равен нулю. В этом случае импульс отсутствует. При попадании светового потока на фотодиод 2 через отверстие в диске сопротивление фотодиода уменьшается и появляется ток  $I_{\phi}$ , который поступает на транзистор 3, где уменьшается и формируется в прямоугольные импульсы. Электрические импульсы с выходного преобразователя подаются на вход электронного цифрового частотомера, который регистрирует на цифровом табло число этих импульсов за фиксированный интервал времени.

Для измерения расхода рабочей среды используются преобразователи расхода турбинного типа: ТПР-7; ТПР-10; ТПР-20 и др. На рис. 2.4 показана схема такого преобразователя расхода.



В корпусе 1, выполненном в виде трубы, установлена турбина 2 на подшипниках. Лопасти турбины изготовлены из магнитопрово-

дящего материала. На корпусе снаружи закреплен постоянный электромагнит 3 с электрическими обмотками.

Принцип действия электромагнитного преобразователя заключается в следующем. Под действием потока рабочей среды лопасти турбины при вращении пересекают магнитное поле и периодически изменяют его напряженность. Вследствие этого в катушке электромагнита возникает ЭДС, импульсный сигнал которой поступает на частотомер. Показания частотомера пропорциональны объемному расходу рабочей среды.

Преобразователь расхода турбинного типа предназначен в основном для работы с электронно-счетным частотомером. Импульсный сигнал от преобразователя можно подавать на гальванометр осциллографа. Схема включения преобразователя расхода в измерительную цепь аналогична той, что на рис. 2.3, а.

### **Тарировка преобразователей**

Тарировка преобразователей давления, перемещения, частоты вращения, расхода рабочей среды и других осуществляется в комплексе с измерительно-регистрающей аппаратурой. Она заключается в нахождении функциональной зависимости между измеряемым параметром (давлением, перемещением и др.) и выходным сигналом аппаратуры. Изменяя измеряемый параметр от минимальной до максимальной величины (в пределах рабочего диапазона) и сравнивая значения этих параметров с интенсивностью выходного сигнала измерительно-регистрающей аппаратуры, определяют (аналитически или графически) их соотношения.

Для получения достоверных результатов измерений условия тарировки должны как можно меньше отличаться от условий проведения испытаний объектов. При этом состав измерительной системы, условия ее эксплуатации как при тарировке, так и при испытаниях должны быть одинаковыми. Номера каналов, закрепленных за определенными процессами при тарировке, порядок расстановки гальванометров в магнитном блоке осциллографа не должны изменяться в процессе испытаний. В качестве примера проведем тарировку датчика давления.

Тарировка датчика давления производится на специальной установке (рис. 2.5). Схема установки содержит гидравлический нагне-

татель 1, поршневая полость которого соединена магистралями с датчиком давления 2 и образцовым манометром 3, а через клапан 6 – со штоковой полостью. Датчик давления 2 электрически соединен с источником постоянного тока  $E$  и через переменный резистор  $R_T$  – с миллиамперметром 4 или гальванометром 5 осциллографа.

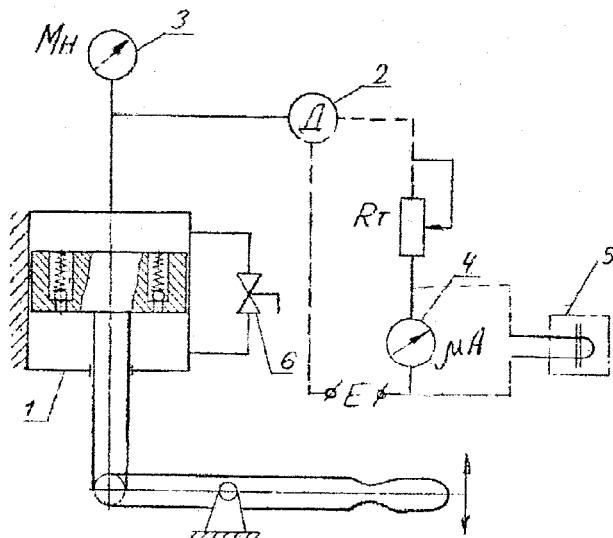


Рис. 2.5. Принципиальная схема установки для тарировки преобразователей давления

Тарировка датчика (преобразователя) производится как в прямом, так и в обратном направлениях, т.е. при повышении и понижении давления. Предварительно (с помощью тарировочного резистора  $R_T$ ) подбирают уровень выходного сигнала от преобразователя (датчика), соответствующего определенному отклонению стрелки на шкале регистрирующего прибора или луча на экране осциллографа при максимальном давлении тарировки.

Тарировка при прямом направлении осуществляется следующим образом. При закрытом клапане 6 с помощью рукоятки нагнетателя 1 последовательными ступенями через 0,1 МПа (5–10 ступеней в зависимости от максимального уровня давления, до которого производится тарировка) повышают давление в магистрали датчика 2. При этом измеряют величину тока  $I$  или перемещение  $h$  луча гальванометра на экране осциллографа и заносят в табл. 2.1 (прямой ход).

Тарировка датчика давления в обратном направлении производится следующим образом. При максимальном давлении, которое было достигнуто при прямой тарировке и нижнем положении рукоятки нагнетателя 1, плавно открывают вентиль 6 и последовательными ступенями через 0,1 МПа (5–10 ступеней) понижают давление в магистрали датчика 2 до нуля (до атмосферного). Результаты тарировки заносят в табл. 2.1 (обратный ход).

Для повышения точности тарировочных замеров их повторяют не менее трех раз и находят среднее значение величины.

Т а б л и ц а 2.1

Прямой ход			Обратный ход		
Давление $P$ , МПа	Сила тока $I$ , мА	Перемещение $h$ , мм	Давление $P$ , МПа	Сила тока $I$ , мА	Перемещение $h$ , мм

### Обработка результатов тарировки преобразователей

Обработка результатов тарировки преобразователей сводится к нахождению функциональной зависимости между отклонениями луча  $h_i$  на экране осциллографа или стрелочного прибора (тока или напряжения) и значением давления  $p_i$  (нагрузки), а также к определению масштабного коэффициента  $K_m$ , наиболее точно удовлетворяющего всем опытным данным тарировки, и к оценке точности его определения.

Обычно зависимость  $p=f(h)$  линейная ( $p=K_m h$ ) или может быть приведена к этому виду.

Опытные данные тарировки описываются, как правило, нормальным уравнением:

$$\sum p_i h_i - K_m \sum h_i^2 = 0. \quad (2.1)$$

Обрабатывая опытные данные по методу наименьших квадратов, из уравнения (2.1) получают выражение для масштабного коэффициента:

$$K_m = \sum p_i h_i / \sum h_i^2.$$



При этом среднеквадратичная погрешность оценки масштабного коэффициента определяется по формуле

$$\sigma = \pm \left[ \frac{\sum (p_i - K_M h_i)^2}{(n-1) \sum h_i^2} \right]^{\frac{1}{2}},$$

где  $n$  – общее число замеров.

Приведенная относительная погрешность (в %) оценки масштабного коэффициента определяется зависимостью

$$\delta = \pm 100 \sigma / K_M.$$

Для вычисления суммарной погрешности результатов тарировки дополнительно находят погрешность замеров давления. Суммарная приведенная относительная погрешность тарировки

$$\Delta = \delta + \delta_{\text{п}},$$

где  $\delta_{\text{п}}$  – приведенная относительная погрешность определения давления.

Суммарная среднеквадратичная погрешность определения масштабного коэффициента вычисляется по выражению

$$\sigma_{\Sigma} = \pm 100 \Delta \cdot K_M.$$

Погрешность определения масштабного коэффициента учитывают при оценке точности обработки результатов испытаний.

### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Схемы включения преобразователей давления, перемещения и частоты вращения в измерительные цепи.
3. Схему установки для тарировки преобразователя давления.

4. Результаты тарировки преобразователя давления (таблицы, графики).

5. Результаты математической обработки тарировочных данных и их краткий анализ.

### **Контрольные вопросы**

1. Какое устройство называют преобразователем?
2. Принцип работы преобразователей давления.
3. Как работают датчики для измерения угловых перемещений?
4. Каким образом с помощью тахогенератора можно измерить угловую скорость?
5. Для чего применяется и как работает электромагнитный (индукционный) преобразователь?
6. Из каких элементов состоит фотоэлектрический преобразователь?
7. Каков принцип работы фотоэлектрического преобразователя?
8. Для чего применяются и как работают преобразователи расхода турбинного типа?
9. В чем заключается тарировка преобразователей?
10. Как производится тарировка датчика давления?

### *Лабораторная работа № 3*

## **ТЕНЗОРЕЗИСТОРЫ И СПОСОБЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ**

### **Цель работы**

Изучить тензорезисторы различных типов, способы их наклеивания и тарировки.

### **Общие сведения**

Тензорезисторы представляют собой резисторы, сопротивление которых изменяется с изменением их линейных размеров под действием внешних факторов. Работа тензорезисторов основана на явлении тензоэффекта: изменении сопротивления проводников при их механической деформации.

Тензорезисторы бывают проволочные, фольговые и полупроводниковые.

Геометрические размеры тензорезисторов первых двух типов изменяются при их деформации. Основную роль в образовании электрического сигнала в полупроводниковых тензорезисторах играет изменение их удельного сопротивления под действием механической нагрузки.

Чувствительность как механических, так и полупроводниковых тензорезисторов оценивается коэффициентом тензочувствительности  $k$ , определяемым тензоэффектом:

$$k = 1 + 2\mu + \nu = \frac{(\Delta R/R)}{(\Delta l/l)},$$

где  $\mu$  – коэффициент Пуассона;

$\nu$  – коэффициент изменения удельного сопротивления проводника;

$\Delta R$  – приращение сопротивления проводника;

$R$  – сопротивление проводника;

$\Delta l$  – приращение (уменьшение или увеличение) геометрических параметров проводника;

$l$  – длина проводника.

Проволочный тензорезистор (рис. 3.1, а) представляет собой решетку из проволоки 1 диаметром 0,02...0,05 мм, наклеенную на основу 2 из тонкой бумаги или лаковой пленки 3.

В качестве материала для проволоки чаще всего используется константан, характеризующийся достаточно большим коэффициентом тензочувствительности  $k$  и малым температурным коэффициентом сопротивления.

Проволочные тензорезисторы выполняют базой (длиной петли  $l_0 = 5...30$  мм). Коэффициент тензочувствительности проволочных тензорезисторов, выполненных из константановой проволоки,  $k = 2 \pm 0,2$ , номинальный рабочий ток  $I \approx 0,3$  мА, максимальная деформация не должна превышать 0,3 %.

Примеры условного обозначения проволочного тензорезистора: 2 ПКП-5-50 Г; 2 ПКБ-20-200Х. Первая буква (П) указывает, что решетка выполнена из проволоки; вторая буква (К) – константан (материал проволоки); третья (Б или П) – материал основы (бумага или

пленка); цифры указывают длину базы и номинальное сопротивление решетки; последняя буква (Г или Х) – температуру наклейки (Х – не более 30°C, Г – не более 180°C).

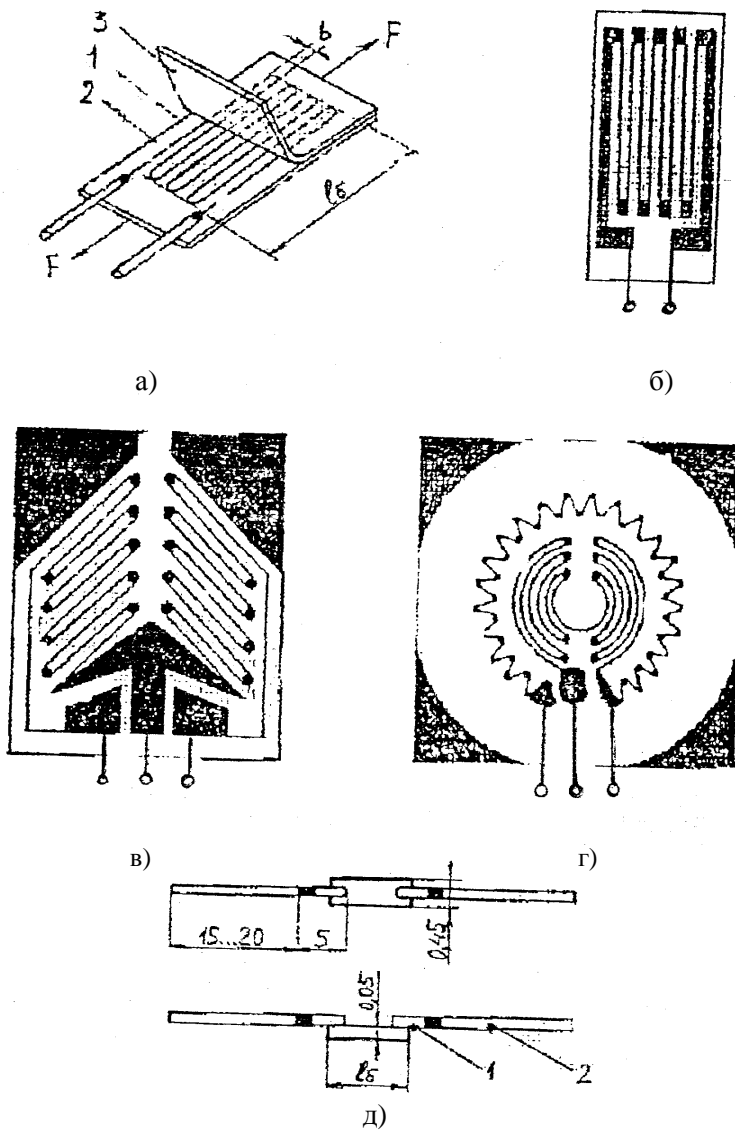


Рис. 3.1. Конструкции разных типов тензорезисторов

Влияние на тензочувствительность датчика оказывает расстояние между витками ( $b$ ) и длина витков ( $l_0$ ).

Фольговый тензорезистор (рис. 3.1, б) в отличие от проволочного имеет решетку из полосок фольги прямоугольного сечения толщиной 4...12 мкм, которые наносят на лаковую основу.

Благодаря большой площади контакта полосок с объектом измерения теплоотдача фольгового тензорезистора значительно выше, чем проволочного, что позволяет увеличить силу тока, протекающего через тензорезистор, до 0,5 мА и тем самым повысить чувствительность измерительной схемы.

Другим преимуществом фольговых тензорезисторов является возможность изготовления решеток сложного профиля, которые в наибольшей степени удовлетворяют условиям измерений.

Прямоугольные решетки (рис. 3.1, б) наиболее подходят для измерения линейных деформаций, розеточные (рис. 3.1, в) – крутящих моментов на круглых валах, а мембранные (рис. 3.1, г) – для наклейки на мембраны.

Примеры обозначений фольговых тензорезисторов:

2 ФКПА-10-100 X; 2 ФКПБ-5-50 Г; 2 ФКМВ-30-200 Г.

Первая буква указывает тип тензорезистора (Ф – фольговый); вторая – материал решетки (К – константан); третья – тип тензорезистора (П – прямоугольный; Р – розеточный; М – мембранный); четвертая (А, Б, В, Г, Д) – принадлежность тензорезистора к подгруппе. Остальные цифры и буквы показывают то же, что и в условном обозначении проволочных тензорезисторов. В обозначении мембранных тензорезисторов вместо длины базы указывается диаметр тензорезистора в миллиметрах.

Полупроводниковый тензорезистор (рис. 3.1, д) представляет собой тонкую полоску из полупроводникового материала с проводимостью  $n$ - и  $p$ -типа. Из полупроводникового материала в основном используют кремний и германий, отличающиеся высокой тензочувствительностью, химической инертностью, выдерживают нагрев до 500...540°C.

Тензоэффект при растяжении полупроводника  $n$ -типа отрицательный, а  $p$ -типа – положительный. Тензорезисторы типа КТД имеют  $p$ -проводимость, а типа КТЭ –  $n$ -проводимость. Выводы таких тензорезисторов имеют два участка (рис. 3.1, д). Полоска 1 из золота служит

для соединения с материалом полупроводника, а с помощью полоски 2 (из меди) осуществляется монтаж измерительных схем.

Коэффициент тензочувствительности указанных тензорезисторов  $k = 120 \pm 20$ , номинальный ток  $I = 15$  мА, диапазон рабочих температур – 160...300°С.

Преимущества полупроводниковых тензорезисторов по сравнению с проволочными и фольговыми заключаются в том, что чувствительность их при меньших размерах в 50...60 раз превышает чувствительность проволочных, а высокий уровень выходного сигнала позволяет проводить запись без использования усилителя. К недостаткам следует отнести их малую механическую прочность и гибкость, высокую чувствительность к внешним факторам (температуре, освещению и т.п.).

### **Схемы расположения тензорезисторов на испытываемой детали**

На детали тензорезистор должен быть ориентирован так, чтобы нити решетки вдоль его чувствительной оси подвергались максимальному растяжению или сжатию, т.е. ось базы тензорезистора должна совпадать с осью главной деформации. Тензорезисторы с одинаковыми знаками приращения сопротивлений должны включаться в противоположные плечи моста, а с различными – в смежные.

На точность измерений существенно влияет температура детали, на которую наклеен тензорезистор. Для компенсации дополнительной температурной погрешности рабочего плеча тензомоста используют тензорезистор соседнего плеча. Этот тензорезистор наклеивают на находящуюся рядом и работающую в тех же температурных условиях недеформированную деталь, но ориентируют его так, чтобы он не подвергался деформации. Если два (или четыре) смежных плеча являются рабочими, компенсация температурной погрешности происходит автоматически.

Рациональные схемы наклейки тензорезисторов показаны на рис. 3.2.

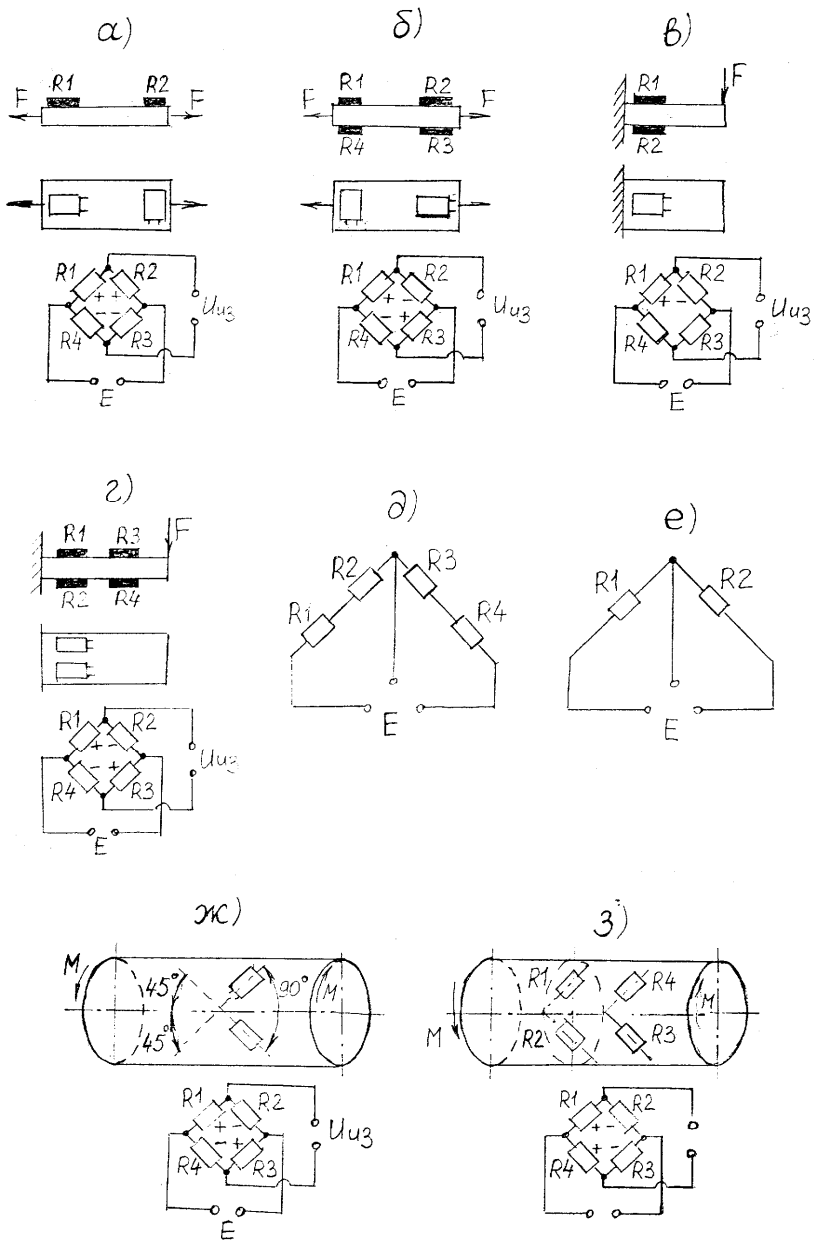


Рис. 3.2. Схемы расположения тензорезисторов на испытуемых деталях

При одном рабочем плече R1 (рис. 3.2, а) термокомпенсационный тензорезистор R2 наклеивают перпендикулярно к направлению действия растягивающей (сжимающей) силы  $F$ . Кроме температурной погрешности при таком расположении тензорезисторов компенсируются также потери тензочувствительности рабочего плеча, возникающие из-за поперечных деформаций решетки тензорезистора. Недостатком данной схемы является и минимальная чувствительность. Кроме того, в случае эксцентричного приложения нагрузки деталь изгибается и тензорезистор R1 подвергается растяжению и изгибу.

Схема на рис. 3.2, б характеризуется вдвое большей чувствительностью и полной компенсацией температурной погрешности. Эта схема нечувствительна к изгибу детали, так как относительные приращения сопротивлений тензорезисторов R1 и R2 противоположных плеч одинаковы по значению, но имеют противоположные знаки.

В схеме на рис. 3.2, в для измерения деформаций при изгибе тензорезистор R1 наклеен на растягиваемые волокна детали, а R2 – на сжимаемые. Схема имеет вдвое большую чувствительность, чем схема с одним рабочим плечом. В ней полностью компенсируется температурная погрешность и исключается влияние деформации растяжения-сжатия.

Схема на рис. 3.2, г обладает вдвое большей чувствительностью, чем предыдущая. Она применяется, когда имеется возможность наклеить четыре тензорезистора и включить их в мостовую схему.

В тех случаях, когда аппаратура, с которой работают тензорезисторы, рассчитана на подключение полумоста, два тензорезистора подключают в полумост по схеме, приведенной на рис. 3.2, е, четыре тензорезистора – на рис. 3.2, д.

При измерении крутящих моментов на валах схема, показанная на рис. 3.2, ж, является наиболее простой, широко применяется в практике тензометрирования. Оба тензорезистора находятся в непосредственной близости друг от друга, а их продольные оси расположены в направлениях главных деформаций. Данная схема позволяет осуществлять полную компенсацию температурной погрешности и исключает влияние осевой нагрузки. При действии на вал изгибающего момента деформации обоих тензорезисторов будут различаться по значению и знаку, что вызовет появление на выходе тензомоста сигнала. Поэтому данная схема наклейки тензорезисто-



ров пригодна только в тех случаях, когда вал не подвергается действию изгибающего момента.

На рис. 3.2, з четыре рабочих тензорезистора наклеены по окружности вала строго симметрично друг другу, а деформации диаметрально противоположных тензорезисторов имеют одинаковые знаки. Это обуславливает в два раза большую чувствительность схемы, чем на рис. 3.2, ж, полную компенсацию температурной погрешности, а также исключение влияния осевой силы и изгибающего момента.

### **Наклеивание тензорезисторов**

Наклеивание тензорезисторов на испытываемую деталь – процесс, требующий точности и аккуратности при выполнении отдельных технологических операций.

Технологический процесс наклейки тензорезисторов состоит из следующих операций:

- выбора и проверки тензорезисторов;
- подготовки поверхности детали;
- выбора клея и составления клеевой композиции;
- непосредственной наклейки тензорезисторов на деталь;
- термообработки наклеенных тензорезисторов;
- контроля качества наклейки;
- герметизации наклеенных тензорезисторов.

Тип применяемых тензорезисторов, их конфигурация, геометрические размеры и сопротивление зависят от размеров и формы испытываемой детали, вида и характера измеряемой деформации. Каждый тензорезистор из числа отобранных подвергают осмотру и проверке. Затем измеряют сопротивление тензорезисторов и группируют их по минимальному разбросу.

Наиболее ответственными операциями являются подготовка поверхности детали, на которую наклеиваются тензорезисторы, обеспечение чистоты склеиваемых поверхностей и используемых химикатов.

Поверхность детали в месте наклейки тензорезисторов шлифуют до шероховатости  $Ra = 2,5 \dots 1,25$  мкм наждачной бумагой № 8...12. Полированные поверхности также шлифуют.

Поверхности детали и тензорезисторов обезжиривают ацетоном, а затем 96%-м этиловым спиртом.

Подготовленную для наклейки деталь обычно нагревают до температуры 50...70°C (в зависимости от применяемого клея).

Для приклеивания тензорезисторов применяют клеи: ацетоноцеллулоидный, бутварофенолформальдегидный БФ-2, эпоксидный Д86, цаакриновый;

Высокотемпературные: В-12; В-15; В-58.

Лаки: финилфлексовые ВЛ-7; ВЛ-9; ВЛ-931.

Цементы: высокотемпературный, кремний-органический Ц7-165-32; термоцемент Б-56.

Сначала на детали делают разметку схемы наклейки тензорезисторов (размещают тензорезисторы на испытуемой детали таким образом, чтобы при деформации последней решетка тензорезистора растягивалась или сжималась).

Технология наклейки зависит от типа детали, вида основы тензорезистора и от применяемого клея.

Убедившись, что тензорезисторы надежно приклеены к испытуемой детали, соединяют (спаивают) их контактные выводы в мостовую или полумостовую схему (рис. 3.2, д, е) для подключения к тензоусилителю или измерительному прибору.

После наклейки и соединения их выходных контактов тензорезисторы защищают от действия влаги, теплоты и механических повреждений. В качестве гидроизоляции используют различные мастики: эпоксидную смолу; клеи 88; ГМН-301 или лак 1201 с наполнителем.

Гидроизоляцию наносят по мере ее высыхания слоями толщиной до 2...3 мм. Затем место наклейки закрывают фетром, забинтовывают и окрашивают краской.

Для устранения местных напряжений из-за неравномерности высыхания клея под основой тензорезистора последний подвергают «тренировочной работе», прикладывая несколько раз к детали циклическую нагрузку, значение которой изменяется от нулевого до максимального.

### **Тарировка тензорезисторов**

Тарировка тензорезисторов осуществляется в комплексе с измерительно-регистрирующей аппаратурой. Она заключается в нахождении функциональной зависимости между нагрузкой, действующей на испытываемую деталь, и выходным сигналом аппаратуры.

Для этого, создавая заранее известные нагрузки на деталь, на которой наклеены тензорезисторы, и сравнивая значения этих нагрузок с интенсивностью выходного сигнала, определяют аналитически или графически их соотношения.

В зависимости от размеров, конфигурации и других особенностей исследуемой детали используют два способа тарировки тензорезисторов: непосредственный и косвенный. Для получения достоверных результатов измерений условия тарировки должны как можно меньше отличаться от условий проведения экспериментальных исследований объектов. Это означает, что схема нагружения детали, состав измерительной системы, условия ее эксплуатации как при тарировке, так и при испытаниях должны быть одинаковыми. Номера каналов, закрепленных за определенными процессами при тарировке, порядок расстановки гальванометров в магнитном блоке осциллографа не должны изменяться в процессе испытаний.

### **Непосредственная статическая тарировка**

Суть метода состоит в том, что испытываемую деталь нагружают силами или моментами в пределах рабочего диапазона нагрузок последовательными ступенями (не менее 5) с последующей разгрузкой в том же порядке. На каждой ступени нагружения и разгрузки производят замер изменяемой величины. Для повышения точности тарировочных замеров их повторяют не менее трех раз и находят среднее значение величины.

### **Косвенная тарировка**

В тех случаях, когда непосредственная тарировка невозможна, прибегают к методу сравнения деформации тарировочной балки с деформацией испытываемой детали. Одну часть измерительного тензоэлемента наклеивают на испытываемую деталь, а другую – на тарировочную балку, изготовленную из того же материала, что и деталь. При различных деформациях тарировочной балки снимают показания измерителя. Затем, разгрузив балку, нагружают испытываемую деталь и по показаниям измерителя судят о деформациях, возникающих в месте наклейки тензорезисторов.

В процессе проведения эксперимента приходится часто контролировать коэффициент усиления измерительного канала. Он может изменяться при проведении замеров под влиянием различных факторов (колебаний напряжения в питающей сети, температуры окружающей среды и т.д.).

Для анализа коэффициента усиления измерительного канала используют электрическую калибровку тензометрической аппаратуры: на вход усилителя подается напряжение, которое является эквивалентом заранее заданной деформации, воспринимаемой тензорезисторами. Это напряжение принято называть контрольным сигналом. Он может быть образован двумя способами: искусственным разбалансом тензомоста или подачей на вход усилителя напряжения от калиброванного источника. В тензоусилителях наиболее часто используется первый способ. Схема подключения тарировочного тензорезистора ( $RT$ ) показана на рис. 3.3. Наличие контрольного сигнала позволяет не только компенсировать возможное изменение коэффициента усиления, но и при необходимости изменять его в процессе проведения замеров.

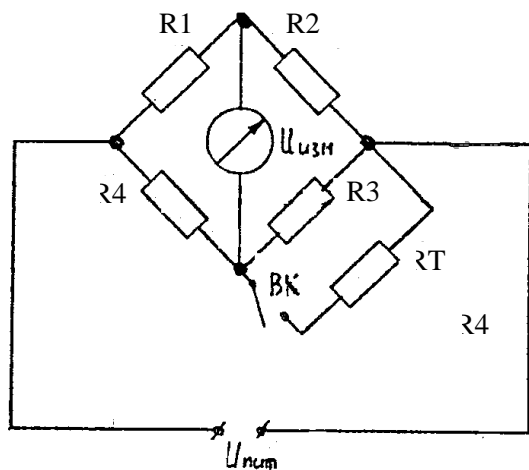


Рис. 3.3. Схема включения тарировочного резистора

На рис. 3.4 показана принципиальная схема установки для тарировки тензорезисторов. Установка содержит металлическую пластину, на поверхности которой наклеены тензорезисторы и соединены электрически в мостовую схему. Тензорезисторы подключены

к тензоусилителю, выход которого соединен с измерительно-регистрающим прибором. В качестве ИРП может использоваться миллиамперметр или осциллограф.

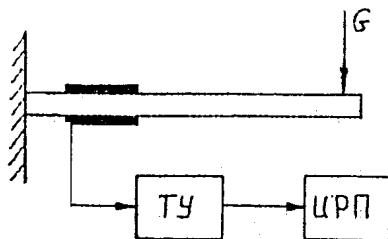


Рис.3.4. Принципиальная схема установки для тарировки тензорезистора: ТУ – тензометрический усилитель; ИРП – измерительно-регистрающий прибор

Нагрузка  $G$  на пластину при тарировке задается ступенчато с помощью разновесов (0,01...2 кг). Результаты тарировки при нагружении (прямой ход) и разгрузке (обратный ход) пластины заносятся в таблицу.

Для повышения точности тарировочных замеров их повторяют не менее трех раз и находят среднее значение величины. Математическая обработка результатов тарировки производится по методике, изложенной в лабораторной работе № 2.

Результаты заносят в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Нагрузка $G$ , кг	Сила тока $I$ , мА	Перемещение луча на экране осциллографа $h$ , мм

### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Принципиальная схема установки для тарировки тензорезисторов.
3. Результаты тарировки и математической обработки полученных данных.
4. Краткий анализ полученных результатов.

## **Контрольные вопросы**

1. Что такое тензорезистор?
2. На чем основана работа тензорезисторов?
3. Как оценивается чувствительность тензорезисторов?
4. Что представляет собой проволочный тензорезистор?
5. Как изготавливают фольговые тензорезисторы?
6. Какими преимуществами обладают фольговые тензорезисторы по сравнению с проволочными?
7. Как устроен полупроводниковый тензорезистор?
8. Какие преимущества и недостатки присущи полупроводниковым тензорезисторам?
9. Как проводится непосредственная статическая тарировка тензорезисторов?
10. Как производится косвенная тарировка тензорезисторов?
11. Что такое контрольный сигнал?
12. Для чего используют контрольный сигнал?

## *Лабораторная работа № 4*

### **КОНСТРУКЦИЯ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИХ УСИЛИТЕЛЕЙ**

#### **Цель работы**

1. Изучить конструкцию и принцип действия тензометрического усилителя ТОПАЗ–3.
2. Ознакомиться с правилами подготовки тензоусилителя к работе и с методами измерения.

#### **Общие сведения**

Тензоусилитель предназначен для усиления выходного сигнала тензометрических, терморезисторных, фотодиодных и других параметрических датчиков, собранных как по мостовой, так и по полумостовой схеме, а также по схеме термопар. Выход прибора рассчитан на подключение к гальванометрам светолучевого осциллографа или к другим приборам.

Возможная область применения:

- измерение сил, моментов вращения, ускорений, гидравлических и пневматических давлений и других параметров посредством тензометрических преобразователей (датчиков);
- измерение температур посредством термодпар, терморезисторов;
- измерение относительной деформации материалов;
- усиление малых электрических сигналов.

Усилитель при работе с тензодатчиками обеспечивает их питание стабилизированным постоянным напряжением, производит балансировку и тарировку измерительного тракта по методу «масштабных сопротивлений». Обеспечивается возможность компенсации дрейфа нуля усилителя и помех термоэлектрического и гальванического происхождения. При совместной работе с измерительно-регистрирующими приборами возможно быстрое определение относительных деформаций в месте наклейки тензорезистора.

При работе с термодпарами возможна компенсация начальной ЭДС.

### **Техническая характеристика тензоусилителя ТОПАЗ-3**

Число измерительных каналов – 10.

Измеряемые деформации при одном активном тензорезисторе (напряжение питания тензосхемы – 9 В) – от  $10,01 \cdot 10^{-3}$  до  $10 \cdot 10^{-3}$  отн. ед.

(еод),  $1 \text{ еод} = 10^{-6}$  относительной деформации  $\frac{\Delta l}{l}$ .

Выходное сопротивление – 18 – 22 Ом.

Выходной ток – не менее 10 мА.

Диапазон регистрируемых частот – от 0 до 7000 Гц.

Неравномерность частотной характеристики –  $\pm 0,5$  дБ.

Сопротивление тензорезисторов – 100 – 400 Ом.

Рекомендуемые параметры гальванометров: чувствительность – 10...500 мм/мА·м; сопротивление – 10...60 Ом.

Длина кабеля датчика – до 100 м.

Напряжение питания тензосхемы –  $4,5 \pm 10$  % В.

Диапазон рабочих температур – от минус 10 до 40°C.

Основная приведенная погрешность от нелинейности характеристики усилителя (включая часовой дрейф) при сопротивлении тензорезисторов  $200 \pm 500$  Ом – не более 2 %.

Дополнительная погрешность на каждые  $10^{\circ}\text{C}$  – не более 1,5 %.  
Время прогрева – 25 мин.  
Напряжение питания  $U = 11 \dots 15 \text{ В}$ .  
Максимальный потребляемый ток  $I = 1,25 \text{ А}$ .  
Габаритные размеры –  $435 \times 135 \times 210 \text{ мм}$ .  
Масса – 9,2 кг.

### **Принцип действия тензоусилителя**

Принцип действия прибора основан на усилении постоянного тока сигналов тензорезисторов (или других датчиков), соединенных по мостовой схеме. Мосты питаются стабилизированным постоянным напряжением. Стабилизатор имеет автоматическую защиту от коротких замыканий.

Прибор (рис.4.1) содержит узел питания, включающий стабилизатор 2С-1, два преобразователя Б-4, усилители постоянного тока 2У-1 и стрелочный измерительный прибор ИП с переключателем.

Напряжение питания с разъема Х3 через предохранитель F, выключатель S4 и диод Д, защищающий прибор от неправильного включения полярности, поступает на стабилизатор 2С-1 и преобразователь Б-4. Стабилизатор (выходное напряжение 9 В при токе 0,55 А) служит для питания датчиков. Каждый из преобразователей подключен к пяти усилителям 2У-1, которым требуются гальванически изолированные источники питания. На датчики П1-П10 в зависимости от положения переключателя S в усилитель подается либо 9 В, либо 4,5 В. Для получения последнего в усилителе 2У-1 имеется стабилизатор Ст. Сигналы от датчиков П1-П10 через разъемы Х1-Х3 поступают на входы усилителей, их входы подключены к этим же разъемам и через переключатель S – к измерительному прибору ИП и контрольным гнездам на передней панели.

Переключатель S в положении «Контроль» переводит измерительный прибор ИП в режим вольтметра. С помощью кнопочного переключателя S можно измерить напряжение на выходе стабилизатора и любого из преобразователей. Эти же напряжения поданы на гнезда «Контроль» разъема Х1-Х3.

Кнопка «S5» позволяет при необходимости повысить чувствительность измерительного прибора ИП.



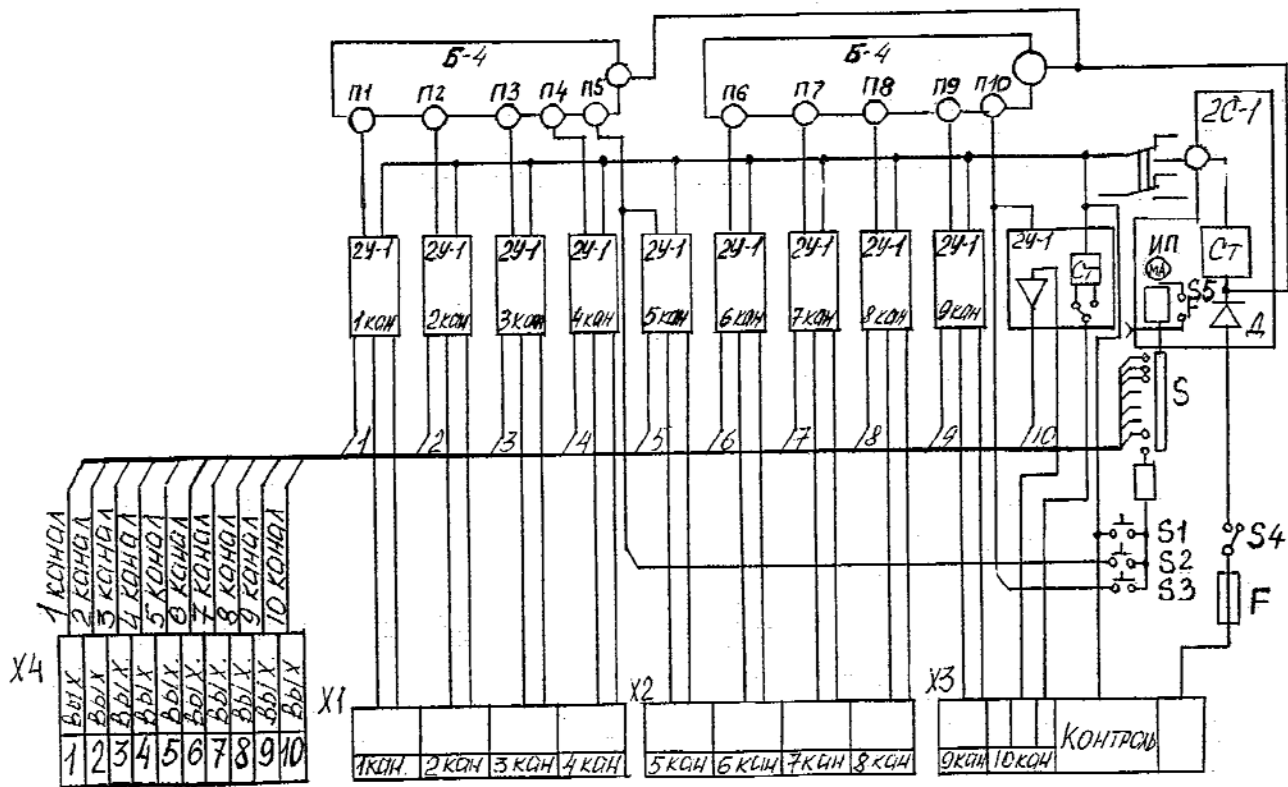


Рис. 4.1. Структурная схема тензоусилителя ТОПА3-3

## Расположение органов управления тензоусилителя

На передней панели усилительного канала субблока 2У-1 расположены (рис. 4.2):

- а) потенциометр  $\leftarrow \overset{0}{\bullet} \rightarrow$  для установки нуля усилителя;
- б) потенциометр «Б» для балансировки усилительного тракта (датчик и усилитель);
- в) кнопка «М» для включения масштабного сигнала;
- г) кнопка «4,5 – 9» для установки напряжения питания датчика;
- д) кнопка « $\frac{2-5}{10}$ » для ослабления входного сигнала в 2; 5 и в 10 раз;
- е) кнопка «±» для переключения полярности выходного сигнала.

На передней панели блока питания расположены:

- а) кнопка «Вкл.» для включения прибора;
- б) кнопка «ПД» для включения питания датчиков тензосхемы;
- в) кнопка «Точно» для повышения чувствительности стрелочного прибора;
- г) переключатель «Канал-Контроль» для подключения стрелочного прибора к выходу одного из каналов или измерения напряжений блока питания;
- д) кнопка «Ст» для измерения стрелочным прибором выходного напряжения стабилизатора;
- е) кнопки «П1» и «П2» для измерения стрелочным прибором выходных напряжений первого и второго преобразователей Б-4 соответственно.

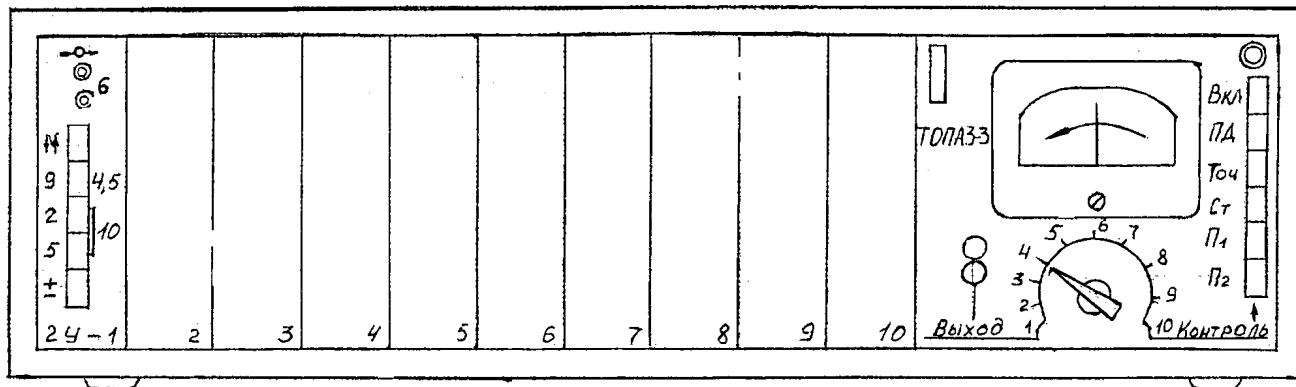


Рис. 4.2. Передняя панель тензоусилителя ТОПАЗ-3

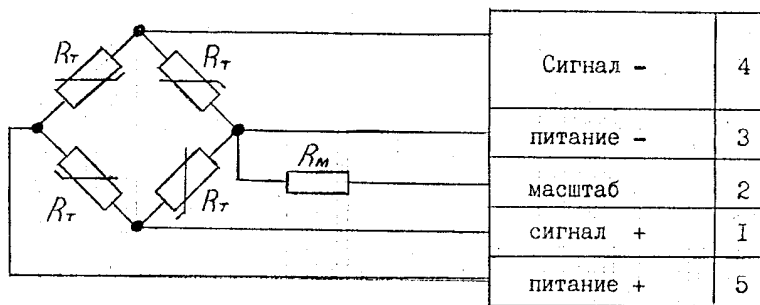
## Подготовка тензоусилителя к измерениям

1. Установить все кнопки в отжатое состояние, переключатель – в положение «Контроль».

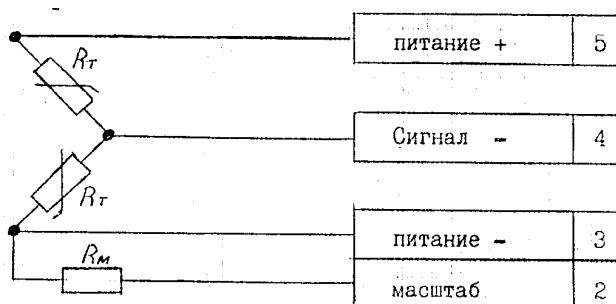
2. Подключить к прибору кабели комплекта согласно гравировке на задней стенке прибора. Их выводы в соответствии с маркировкой соединить с датчиками, осциллографом и источником питания. Схемы подключения тензорезисторов приведены на рис. 4.3.

**Примечание.** Питание прибора может производиться только от аккумуляторов, гальванических батарей, стабилизированных выпрямителей. Подключение прибора к выпрямителям, не имеющим фильтров, запрещается.

а



б



в

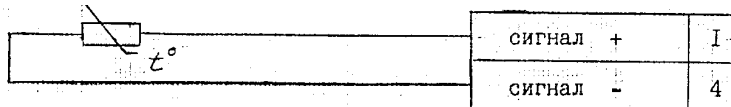


Рис.4.3. Схемы подключения тензорезисторов и термопары к тензоусилителю:  
а – схема моста; б – схема полумоста; в – термопара

3. Перед включением прибора кнопки «4,5 – 9»; « $\frac{2-5}{10}$ » нажать.

Положение остальных должно быть в отжатом состоянии. Переключатель – в положении «Контроль».

4. Установить на исследуемый объект датчики, с которыми предполагается работать.

5. Включить прибор кнопкой «Вкл.», при этом должна загореться сигнальная лампочка и раздастся звук высокого тона, свидетельствующий о работе преобразователя.

6. Прогреть прибор в течение 20 мин.

7. Проверить напряжение блока питания. Для этого поочередно нажать кнопки «Ст», «П1» и «П2», напряжение при этом должно быть в пределах 8,8...9,28 В. Проверить балансировку усилителей 2У-1, для чего, поочередно подключая стрелочный прибор к их выходам, потенциометром «← • →» установить стрелку на «0». Окончательную регулировку производить при нажатой кнопке «Точно». Далее, нажав кнопку «ПД», подать напряжение питания на датчики и произвести первичную балансировку измерительных трактов. Для этого, подключая поочередно стрелочный прибор к выходам каналов, потенциометром «Б» установить стрелку прибора на «0».

В соответствии с задачами измерений и тензосхемой (рис. 4.3) по табл. 4.1 и 4.2 выбрать для каждого канала тип гальванометра, напряжение питания датчика, положение аттенюатора и установить выбранные режимы при помощи кнопок, размещенных на усилителях 2У-1. При использовании тензорезисторов ПКБ, ВКБ сопротивлением 100 Ом напряжение питания датчика выбрать 4,5 В. С другими тензорезисторами напряжение питания может быть 4,5 или 9 В.

Относительная деформация $\epsilon$ , (отн.ед) $\cdot 10^{-2}$	Полумост, один активный тензорезистор								Полумост, два активных тензорезистора						Мост, четыре активных тензорезистора				
	0-0,1	0-0,25		0-0,5		0-2	0-5	0-0,1	0-0,25		0-0,5		0-0,25	0-0,5	0-2				
$U$ , мВ	0,32	0,80		1,61		6,43	16,1	0,84	1,61		3,22		3,22	8,43	25,7				
$\sigma$ , МПа (сталь)	21	52,5		105		420	1050	210	525		1050		525	1050	4200				
Частота, Гц	0 – 10	А		1		–		–		–		–		–		–			
		Б		9		–		–		–		–		–		–			
		В		1:1		–		–		–		–		–		–			
		Г		47		–		–		–		–		–		–			
	0 – 20	А		2	2-1	3	2-1	3	3	–	2-1	3	2-1	3	2-1	3	3	–	
		Б		9	9	9	4,5	4,5	5,5	–	9	9	9	4,5	9	9	9	9	4,5
		В		1:1	1:2	1:2	1:2	1:2	1:5	–	1:2	1:1	1:5	1:2	1:10	1:5	1:10	1:5	1:5
		Г		37	47	32	47	32	51	–	38	50	38	32	38	51	38	51	51
	0 – 40	А				4		4	4			4		4		4		4	
		Б				9		9	4,5	–		9		4,5		4,5		9	4,5
		В				1:1		1:5	1:5	–		1:2		1:2		1:2		1:5	1:10
		Г				55		44	55			29		55		55		44	44
	0 – 60	А						5	5			5		5		5		5	5
		Б						4,5	9			9		4,5		4,5		4,5	9
		В						1:2	1:10			1:1		1:1		1:1		1:2	1:10
		Г						32	32			32		32		32		32	51

**Примечание.** А – типы гальванометров и их параметры (табл. 4.2); Б – напряжение питания тензосхемы; В – положение аттенюатора; Г – ордината записи, мм.

Таблица 4.2

№ п/п	Тип гальванометра	Чувствительность, мВ/мА	Сопротивление рамки, Ом	Частота регистрации, Гц
1	М 005 03	150	60	0 – 180
2	М 001 2а	81	40	0 – 200
3	М 004 0б	24	13	0 – 300
4	М 001 3а	10,5	13	0 – 400
5	И 004 12	6	13	0 – 600
6	М 001 4а	2	15	0 – 800

**Пример.** На вал наклеен полумост тензорезисторов ПКП-200 Ом. Ожидаемое напряжение материала – 30 – 50 МПа; частота процесса до 150 Гц.

Согласно табл. 4.2 находим пересечение столбца (2 активных тензорезистора при  $\sigma = 0...52,5$  МПа) и строки (частота процесса 0...200 Гц). Имеются два возможных варианта, поскольку для тензорезистора ПКП-200 Ом напряжение питания может быть задано любое. Выбираем тот вариант, для которого гальванометр (табл. 4.2) дает большую ординату, а именно гальванометр 3 (М 004 0б), напряжение питания 9 В, аттенуатор 1:5. Для включения этого режима необходимо нажать кнопку «5».

После установки режимов работы произвести вторичную Балансировку измерительных трактов потенциометрами «Б». При нажатой кнопке «Точно» отклонение стрелки прибора не должно превышать подделения шкалы. Исправность аппаратуры проверяется нажатием кнопки «М». При этом стрелка прибора должна отклоняться.

### Подготовка и проведение измерений

Режим работы канала 2У-1 выбирается в соответствии с чувствительностью датчика, приведенной в его паспорте. Обычно указывается выходное напряжение датчика при его номинальной нагрузке в 1 В напряжения питания тензосхемы. Зная фактическое напряжение питания (4,5 или 9 В) и тип схемы включения датчика (мост или полумост), определяют необходимое положение кнопок и тип гальванометра. Если датчик имеет масштабный резистор, а чувствитель-

ность в паспорте не указана, то режим выбирают следующим образом: датчик разгружают, включают масштабный сигнал (нажимают кнопку «М») и, манипулируя кнопками «4,5 – 9» и « $\frac{2-5}{10}$ », а при необхо-

димости и типом гальванометра, добиваются ординаты 30...50 мм. Наименьшая погрешность получается при ординате 35...45 мм.

Для проведения измерений необходимо:

- сняв с датчика нагрузку, произвести окончательную балансировку;
- записать «нулевые» показания осциллографом на фотоленту;
- включить масштабный сигнал и произвести его запись;
- выключить масштабный сигнал;
- подать на датчик нагрузку (включить исследуемый объект) и произвести ее запись. Примерный кадр осциллограммы показан на рис. 4.4.

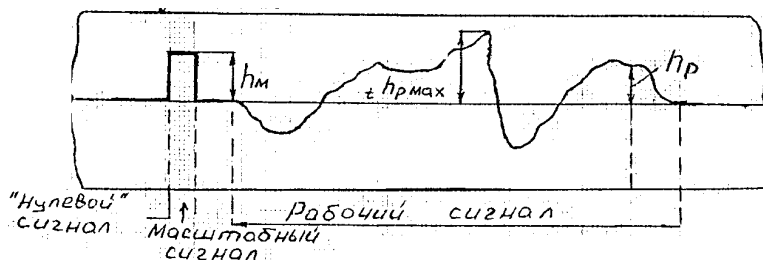


Рис.4.4. Образец осциллограммы

Определение величин параметра  $P_t$  в данный момент времени производится по формуле

$$P_t = P_M \cdot \frac{h_p}{h_M},$$

где  $P_M$  – масштабное значение измеряемого параметра;  $h_p$  и  $h_M$  – рабочее и масштабное значения ординаты в мм.



## Измерение деформаций

Для измерения деформаций исследуемого объекта необходимо:

- наклеить тензорезисторы на объект исследования;
- разгрузить тензосхему от деформаций и произвести окончательную балансировку;
- записать нулевой сигнал тензосхемы;
- произвести запись исследуемых деформаций;
- подобрать масштабный резистор  $R_M$ , дающий масштабную ординату  $h_M = 30 \dots 50$  мм (выполняется для каждого канала отдельно), и произвести ее запись.

Определение значений деформаций  $\varepsilon$  в интересующих точках производится по формуле

$$\varepsilon = \varepsilon_M \frac{h_p}{h_M},$$

где  $\varepsilon_M$  – значение деформации, соответствующее  $P_M$  и определяемое по формуле

$$\varepsilon_M = \frac{1}{\frac{R_M \cdot K}{A \cdot R_T} + 5,05},$$

где  $R_T$ ,  $K$  – сопротивление и коэффициент тензочувствительности тензорезистора (по его паспорту);  $A$  – схемный коэффициент.

- $A = 1$  – для полумоста с одним активным тензорезистором;
- $A = 0,5$  – для полумоста с двумя активными тензорезисторами;
- $A = 0,388$  – для моста с двумя активными тензорезисторами;
- $A = 0,25$  – для моста с четырьмя активными тензорезисторами.

**Пример.** Необходимо измерить деформацию сжатия пластины и определить ее максимальную величину.

Чтобы исключить деформацию изгиба, выбираем тензосхему моста с двумя активными тензорезисторами:  $R_T = 120$  Ом,  $K = 2,06$ ;  $h_M = 41,5$  мм при  $R_M = 265$  кОм;  $h_{p \max} = 36,2$  мм.

Вычисляем:

$$\varepsilon_m = \frac{1}{\frac{26500 \cdot 2,06}{0,388 \cdot 120} + 5,05} = 8,5 \cdot 10^{-5};$$

$$\varepsilon_p = \frac{8,5 \cdot 10^{-5} \cdot 36,2}{41,5} = 7,4 \cdot 10^{-5}.$$

### **Содержание отчета**

Отчет должен содержать:

1. Цель работы.
2. Схемы подключения тензорезисторов и термопары к усилителю.
3. Краткое изложение последовательности балансировки усилителя и выбора масштабного сопротивления.

### **Контрольные вопросы**

1. Для усиления каких сигналов предназначен тензоусилитель?
2. Какова область применения тензоусилителей?
3. Из каких основных узлов состоит тензоусилитель?
4. На чем основан принцип действия тензоусилителя (использовать схему)?
5. Как подбирается режим работы канала усилителей постоянного тока 2У-1?
6. Каким образом производится измерение деформаций с использованием тензоусилителя?
7. По какой формуле определяется значение деформации?

### ***Лабораторная работа № 5***

## **КОНСТРУКЦИЯ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ЧАСТОТОМЕРА**

### **Цель работы**

1. Изучить конструкцию и принцип действия частотомера электронно-счетного ЧЗ-32.

2. Ознакомиться с правилами подготовки частотомера к работе и с методами измерений.

### **Краткие теоретические сведения**

Частотомер ЧЗ-32 является сложным современным устройством, обеспечивающим высокую точность измерений и удобство в работе. Благодаря применению микросхем частотомер имеет небольшие габариты и малое потребление электроэнергии.

Частотомер предназначен для:

- измерения частоты электрических колебаний;
- измерения периода электрических колебаний;
- счета числа электрических импульсов;
- измерения отношения двух частот;
- измерения интервалов времени;
- измерения длительности импульсов;
- выдачи напряжения кварцованных частот и кодирования сигналов для регистрации результатов измерений на ленте цифрорпечатающей машины.

В комплекте с фотоэлектрическим преобразователем скорости вращения частотомер применяется в качестве цифрового тахометра.

### **Технические данные ЧЗ-32**

1. Электронно-счетный частотомер измеряет частоту:

а) синусоидального сигнала в диапазоне частот от 10 Гц до 3,5 МГц при входном напряжении от 0,1 до 100 В;

б) импульсного сигнала любой полярности в диапазоне частот от 10 Гц до 3,5 МГц, имеющего не более двух экспериментальных значений за период при крутизне фронта не менее 0,25 В/мс, при длительности импульса не менее 0,16 мкс, при скважности не менее 2, в диапазоне амплитуд от 0,3 до 100 В.

Мощность, потребляемая частотомером от сети при номинальном напряжении, – не более 45 Вт. Частотомер допускает непрерывную работу в течение 16 ч при сохранении своих технических характеристик.

Габаритные размеры частотомера – 348×351×120 мм. Масса частотомера – не более 9 кг. Рабочие условия эксплуатации следующие:

температура окружающей среды – от минус 30 до +50 °С при относительной влажности до 65±15 %.

### **Устройство и принцип действия частотомера**

Принцип действия частотомера построен по классической схеме, в которой подсчитывается число периодов неизвестной частоты за известный высокоточный отрезок времени, называемый временем измерения. При времени измерения в 1 с количество подсчитанных периодов и есть значение измеряемой частоты в герцах. На цифровом табло автоматически регистрируется результат измерения с указанием порядка и размерности. Времена измерения получаются путем последовательного деления частоты опорного генератора декадными степенями.

При измерении периода длительность времени измерения равна измеряемому периоду, а подсчитываемые за это время колебания образуются декадным делением опорной частоты и называются метками времени.

При измерении отношения частот время измерения равно периоду низшей из сравниваемых частот, в течение которого подсчитывается количество колебаний верхней из сравниваемых частот.

При измерении скорости вращения объектов в мин<sup>-1</sup> время измерения формируется так же, как и при измерении частоты, с дополнительным удлинением в шесть раз, прибор ведет счет количества импульсов, поступивших с преобразователя (например, фотоэлектрического) и однозначно связанных с количеством оборотов в минуту измеряемого объекта.

Структурная схема (рис. 5.1) частотомера содержит следующие узлы: генератор кварцевый; делители базы времени; автоматику; входные усилители-формирователи; селектор; блок счетных декад; блок индикации; блок питания.

Генератор кварцевый генерирует высокостабильные колебания частотой 1 МГц, которые служат для получения методом деления импульсных сигналов с сеткой частот 1 МГц, 100 кГц, 10 кГц, 1 кГц, 100 Гц, 10 Гц, 1 Гц, 0,1 Гц, 0,01 Гц, необходимых для работы прибора.

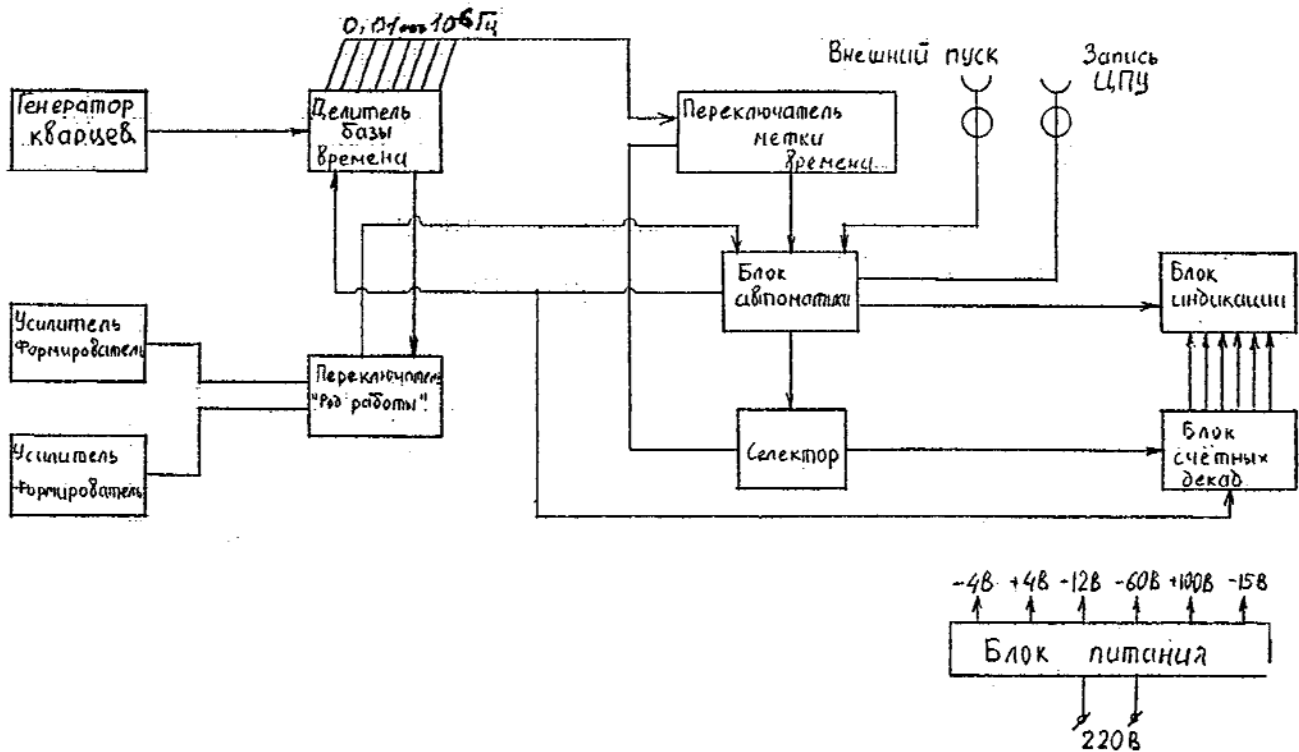


Рис. 5.1. Структурная схема частотомера

Делители базы времени осуществляют деление частоты кварцевого генератора 1 МГц декадными ступенями до 0,01 Гц и деление полученной сетки частот еще 6 раз для измерения количества оборотов в минуту. Полученные частоты используются как метки времени (1 МГц, 100 кГц, 10 кГц, 1 кГц). Часть схемы используется для увеличения периода измеряемого сигнала (при измерении периода колебаний) в 10 раз.

Автоматика управляет всем процессом измерения, обеспечивает регулируемое время индикации результатов измерений на цифровом табло, сброс счетных декад и других схем в “нулевое” состояние перед каждым измерением. Схема автоматики вырабатывает из частот, поступающих с делителей базы времени, строб-импульс, открывающий селектор времени счета. Автоматика обеспечивает режим ручного, автоматического и внешнего пуска прибора. Кроме того, вырабатывает импульс запуска цифрового печатающего устройства (ЦПУ).

Входные усилители-формирователи усиливают и ограничивают входной сигнал, формируя из него затем сигнал постоянной амплитуды с большой крутизной фронтов.

Селектор выполняет функцию временных “ворот” для счетных импульсов. Он открывается на время действия строб-импульса, вырабатываемого схемой автоматики.

Блок счетных декад осуществляет подсчет поступивших на вход импульсов и выдачу результатов измерения на демпфераторы блока индикации и на ЦПУ в коде 1-2-4-8.

Блок индикации осуществляет: расшифровку результатов измерений, поступающих на демпфераторы в двоично-десятичном коде 1-2-4-8 с блока счетных декад в десятичный код; питание цифровых газоразрядных индикаторов и индикацию размерности и разрядности результатов измерений.

Блок питания вырабатывает ряд напряжений, необходимых для питания всех узлов прибора.

### **Расположение органов управления**

Основные гнезда и органы управления расположены на передней панели прибора (рис. 5.2). Вспомогательные гнезда и органы управления вынесены на заднюю стенку.



На передней панели располагаются следующие основные органы управления:

а) входные гнезда каналов «Вход А» и «Вход Б», служащие для подачи измеряемых сигналов;

б) переключатель «Род работы», который обеспечивает взаимное соединение блоков и узлов прибора при различных режимах работы;

в) переключатели полярности импульсов и фронта, от которых запускается прибор по двум каналам;

г) переключатель «Метки времени – Время счета S», с помощью которого производится выбор необходимого времени измерения или периода метки времени;

д) тумблер «Сеть» и фонарь сигнальной лампы;

е) тумблер переключения на внешний опорный генератор и гнездо подключения внешнего опорного генератора;

ж) тумблер «Внеш. – Авт.» и кнопка «Пуск», служащие для подключения на автоматический или ручной (внешний) пуск и для ручного (внешнего автоматического) запуска прибора;

з) ручка регулирования «Время индикации», позволяющая плавно изменять время индицирования результатов измерения;

и) клемма « $\perp$ », соединенная с корпусом прибора.

На задней панели прибора располагаются элементы, не требующие особого пояснения:

а) сетевой разъем;

б) предохранитель;

в) шесть контрольных гнезд питающих напряжений;

г) гнездо внешнего пуска;

е) разъем для подключения цифрового печатающего устройства.

### **Подготовка частотомера к работе**

Для подготовки прибора к работе необходимо выполнить следующие операции:

– изучить техническое описание, ознакомиться со схемой и конструкцией прибора;

– рабочее место, на котором будет эксплуатироваться прибор, должно иметь надежное заземление. Перед включением необходимо соединить земляную клемму прибора с заземлением рабочего места;



– перед включением прибора тумблер «Сеть» должен находиться в выключенном состоянии. Перед включением прибора необходимо проверить соответствие номинала предохранителей надписям около держателей предохранителей;

– включить кабель питания прибора в сеть;

– включить тумблер «Сеть», при этом загорается сигнальная лампочка и лампы индикаторного табло;

– установить тумблер опорного генератора в положение «Внутр.» при работе с внутренним опорным генератором. При работе с внешним опорным генератором, сигнал которого подается на гнездо «Внеш.», тумблер должен находиться в нижнем положении;

– прогреть прибор в течение 0,5–1 часа. После прогрева блока кварцевого генератора лампа индикации работы термостата «Термостат» периодически меняет яркость свечения.

### Проверка работоспособности частотомера

После включения прибора производится проверка правильности работы его основных узлов в следующем порядке:

– установить тумблер опорного генератора в положение «Внутр.»;

– установить переключатель «Род работы» в положение «Контр.»;

– установить переключатель «Метки времени – Время счета S» в положение время счета « $10^{-3}$ »;

– установить тумблер «Внеш. – Авт.» в положение «Авт.», а регулировку «Время индикации» – в положение, обеспечивающее удобное время индикации;

– произвести несколько отсчетов частоты 1 МГц для времени счета  $10^{-3}$  с, а затем установить переключатель «Метки времени – Время счета S» последовательно в положение времени счета « $10^{-2}$ »; «0,1»; «1»; «10»; «100» с, сделав по несколько измерений частоты 1 МГц на каждом положении. При этом показания прибора должны быть, как в табл. 5.1, с отклонением не более  $\pm 1$  счета (единица младшего разряда).

Таблица 5.1

Время счета	$10^{-3}$	$10^{-2}$	0,1	1	10	100
Частота контроля 1 МГц	ПОКАЗАНИЯ ПРИБОРА					
	0001000	001000.0	01000.00	1000.000	000.0000	00.00000

## Порядок проведения измерений

### 1. Измерение частоты:

- к гнезду «Вход А» подсоединить кабель с делителем 1:100;
- подсоединиться входным кабелем к источнику колебаний измеряемой частоты;
- установить переключатель «Род работы» в положение « $f_A$ », тумблер «Внеш. – Авт.» – в положение «Авт.», тумблер опорного генератора – в соответствующее положение;
- установить с помощью регулировки необходимое время индикации;
- установить переключатель «Метки времени – Время счета S» в положение необходимого времени счета;
- отсчитывать значение измеряемой частоты на индикаторном табло. При отсутствии счета или неустойчивом счете сменить входной кабель прибора на кабель с меньшим коэффициентом деления (1:10) или без делителя;
- в режиме измерения частоты импульсных сигналов, близких к синусоидальным, в диапазоне 1–3,5 МГц переключатель входного сигнала «Вход А» установить в положение «~».

### 2. Измерение периода ( $10^{-5} - 10^{-1}$ с):

- установить переключатель «Род работы» в положение « $T_B$ » или « $10 T_B$ »;
- установить переключатель сигнала «Вход Б» в положение « $\rightarrow \rfloor \lfloor$ » и « $\rightarrow \rfloor \lceil$ » или «~» в зависимости от формы подаваемого на вход сигнала;
- установить переключатель «Метки времени – Время счета S» в положение необходимой длительности меток времени;
- установить с помощью регулировки необходимое время индикации, при этом тумблер «Внеш. – Авт.» – в положение «Авт.»;
- подать исследуемый сигнал через кабель с делителем 1:100 на «Вход Б» прибора;
- отсчитать значение измеряемого периода на индикаторном табло. При отсутствии счета подать исследуемый сигнал на «Вход Б» через кабель с делителем, имеющим меньший коэффициент деления.

### 3. Измерение отношения частот:

- установить переключатель «Род работы» в положение « $\frac{f_A}{f_B}$ »;

– установить переключатели сигналов по входам «А» и «Б» в соответствующее положение;

– установить с помощью регулировки необходимое время индикации, при этом тумблер «Внеш. – Авт.» – в положение «Авт.», тумблер опорного генератора – в соответствующее положение;

– подать исследуемые сигналы через кабели с делителями 1:100 на входы прибора. Сигнал высшей из сравниваемых частот – на «Вход А», низшей – на «Вход Б» прибора;

– отсчитать значение отношения частот исследуемых сигналов на индикаторном табло. При отсутствии счета или неустойчивом счете подать сигналы на входы прибора через кабели с делителями, имеющими меньший коэффициент деления.

#### 4. Измерение длительности импульса:

– установить переключатель «Род работы» в положение « $\tau_{ИБ}$ »;

– установить переключатель сигнала «Вход Б» в соответствующее положение (« $\rightarrow$ » или « $\rightarrow$ »);

– установить переключатель «Метки времени – Время счета S» в положение необходимой длительности меток времени;

– установить с помощью регулировки необходимое время индикации, при этом тумблер «Внеш. – Авт.» – в положение «Авт.», а тумблер опорного генератора – в соответствующее положение;

– подать исследуемый сигнал через кабель с делителем 1:100 на «Вход Б» прибора;

– отсчитать значение длительности импульса исследуемого сигнала на индикаторном табло. При отсутствии счета подать исследуемый сигнал на «Вход Б» прибора через кабель с делителем, имеющим меньший коэффициент деления.

#### 5. Измерение интервала времени между двумя импульсами:

– установить переключатель «Род работы» в положение « $\tau_{АБ}$ »;

– установить переключатели сигналов по входам прибора в соответствующие положения;

– установить переключатель «Метки времени – Время счета S» в положение необходимой длительности меток времени;

– установить с помощью регулировки необходимое время индикации, при этом тумблер «Внеш. – Авт.» – в положение «Авт.», а тумблер опорного генератора – в соответствующее положение;

– установить необходимый фронт запуска импульса «Вход А» (переднему фронту соответствует положение «→┘», заднему – «┘→») и необходимый фронт остановки «Вход Б»;

– подать исследуемые сигналы через кабели с делителями 1:100 на соответствующие входы прибора;

– отсчитать значение интервала времени на индикаторном табло. При отсутствии счета или неустойчивом счете подать сигналы на входы прибора через кабели с делителями, имеющими меньший коэффициент деления.

6. Измерение скорости вращения объекта:

– установить переключатель «Род работы» в положение «Тыс. об/мин»;

– установить переключатель полярности «Вход А» в положение «→┘┘»;

– установить переключатель «Метки времени – Время счета S» в положение необходимого времени счета, учитывая при этом, что в приборе автоматически происходит увеличение времени счета в 6 раз, т.е. положение переключателя на делении 10 с будет соответствовать времени счета 60 с и т.д.;

– установить с помощью регулировки необходимое время индикации, при этом тумблер «Внеш. – Авт.» – в положение «Авт.», тумблер опорного генератора – в соответствующее положение;

– подать на «Вход А» прибора сигнал с выхода фотоэлектрического преобразователя;

– отсчитать показания прибора.

7. Непрерывный счет входных колебаний:

– установить переключатель сигнала «Вход А» в соответствующее положение;

– установить переключатель «Род работы» в положение «Выкл.»;

– подать через кабель с делителем 1:100 исследуемый сигнал на «Вход А» прибора;

– тумблер «Внеш. – Авт.» установить в положение «Внеш.»;

– нажать кнопку «Пуск». При этом на индикаторе должны высвечиваться все нули;

– перевести переключатель «Род работы» в положение «Непрер.» При этом должен производиться подсчет входных колебаний. Если этого не наблюдается, то необходимо соединить источ-

ник исследуемого сигнала «Вход А» прибора через кабель с делителем, имеющим меньший коэффициент деления;

– для остановки счета необходимо переключатель «Род работы» поставить в положение «Выкл.». При желании продолжать счет переключатель «Род работы» необходимо поставить в положение «Непрер.»;

– при необходимости начать счет с «Нуля» производится сброс показаний прибора, для чего необходимо нажать кнопку «Пуск». Сброс показаний может производиться при остановке счета.

8. Работа прибора при внешнем пуске:

– установить тумблер «Внеш. – Авт.» в положение «Внеш.». При этом возможны два способа пуска: ручной и дистанционный;

– осуществить ручной пуск нажатием кнопки «Пуск»;

– осуществить дистанционный запуск подачей сигнала запуска на гнездо «Внеш. пуск», расположенное на задней стенке;

– производить необходимые измерения согласно указанным методикам.

9. Работа прибора в качестве источника кварцованных частот – снимать необходимые кварцованные частоты с гнезд «Стандартные частоты»: 10 Гц; 100 Гц; 1 кГц; 10 кГц; 100 кГц; 1 МГц.

10. Работа прибора с внешним опорным генератором:

– установить тумблер опорного генератора в положение «Внеш.»;

– подать от внешнего источника образцовой частоты сигнал частотой 1 МГц, напряжением от 1 до 10 В на гнездо «Внеш.»;

– производить необходимые измерения согласно указанным методикам.

Результаты измерений заносятся в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Серия испытаний	Частота вращения вала ГМ $n, \text{с}^{-1}$	Показания датчика расхода $f, \text{Гц}$

### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Структурная схема частотомера ЧЗ-32.

3. Результаты измерения частоты, полученной при работе датчика расхода рабочей жидкости, и скорости вращения вала гидромотора, полученной от фотоэлектрического преобразователя. Анализ полученных результатов.

### **Контрольные вопросы**

1. Для измерения каких величин предназначен частотомер?
2. На каком принципе основано действие частотомера?
3. Что такое метка времени?
4. Какие основные узлы содержит структурная схема частотомера?
5. Какую роль в схеме выполняет кварцевый генератор?
6. Для чего предназначены делители базы времени?
7. Какими процессами управляет автоматика?
8. Какую функцию выполняют входные усилители-формирователи?
9. Для чего предназначен селектор?
10. Выполнение какой задачи обеспечивает блок счетных декад?
11. Какое действие осуществляет блок индикации?

### ***Лабораторная работа № 6***

## **КОНСТРУКЦИЯ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ИЗМЕРИТЕЛЯ ДЕФОРМАЦИИ**

### **Цель работы**

1. Изучить конструкцию и принцип действия цифрового измерителя деформации ИДЦ-1.
2. Ознакомиться с правилами подготовки измерителя деформации к работе и со способами измерения.

### **Общие сведения**

Измеритель деформации ИДЦ-1 предназначен для измерения статических деформаций при помощи тензорезисторов, включаемых по полумостовой схеме. Прибор может применяться в любой отрасли науки и техники, где необходимо проведение исследований

(испытаний) на механическую прочность различных материалов, машин, конструкций.

### Технические данные ИДЦ-1

Диапазон измеряемых деформаций при коэффициенте тензочувствительности  $k = 2$  составляет  $0 \dots 1999 \times 10$  еод – единиц относительной деформации ( $1 \text{ еод} = 10^{-6}$  относительной деформации  $\frac{\Delta l}{l}$ ).

Цена одной единицы дискретности показаний прибора – 10 еод.

Основная погрешность измерения – не более 20 еод.

Время одного измерения – не более 1,5 с.

Сопротивление применяемых тензорезисторов –  $R = 50 \dots 500$  Ом.

Длина кабеля от прибора до исследуемого объекта – не более 10 м.

Число каналов измерения – 10.

Ток потребления – не более 350 мА.

Габаритные размеры –  $300 \times 200 \times 120$  мм.

Масса прибора – не более 5,5 кг.

Измеритель деформации ИДЦ-1 (рис. 6.1) содержит: блок запуска Е1; блок усилителя А; блоки распределителя импульсов Е2-Е5; блок коммутации КS; блок индикации DS.

В блок запуска Е1 входят: устройство запуска и временной задержки; электронное реле времени; первая ступень распределителя импульсов; коммутатор электропитания.

Блоки распределителя импульсов Е2-Е5 идентичны и являются составной частью устройства автоматического уравнивания. Каждый из блоков состоит из распределителя импульсов и ячеек «И» памяти.

В блок усилителя А входят входной трансформатор, усилитель напряжения, фазочувствительный детектор, исполнительный усилитель нуль-органа, генератор питания измерительного моста.

Блок индикации DS состоит из преобразователя для питания индикаторных ламп, компенсирующих резисторов типа С5-27 и типа МЛТ, реле, обеспечивающих преобразование двоично-десятичной информации в блоке автоматического уравнивания в десятичную информацию.

В блок коммутации КS входят переключатель тензорезисторов (К1-К10) и внутренний полумост (R1, R2).

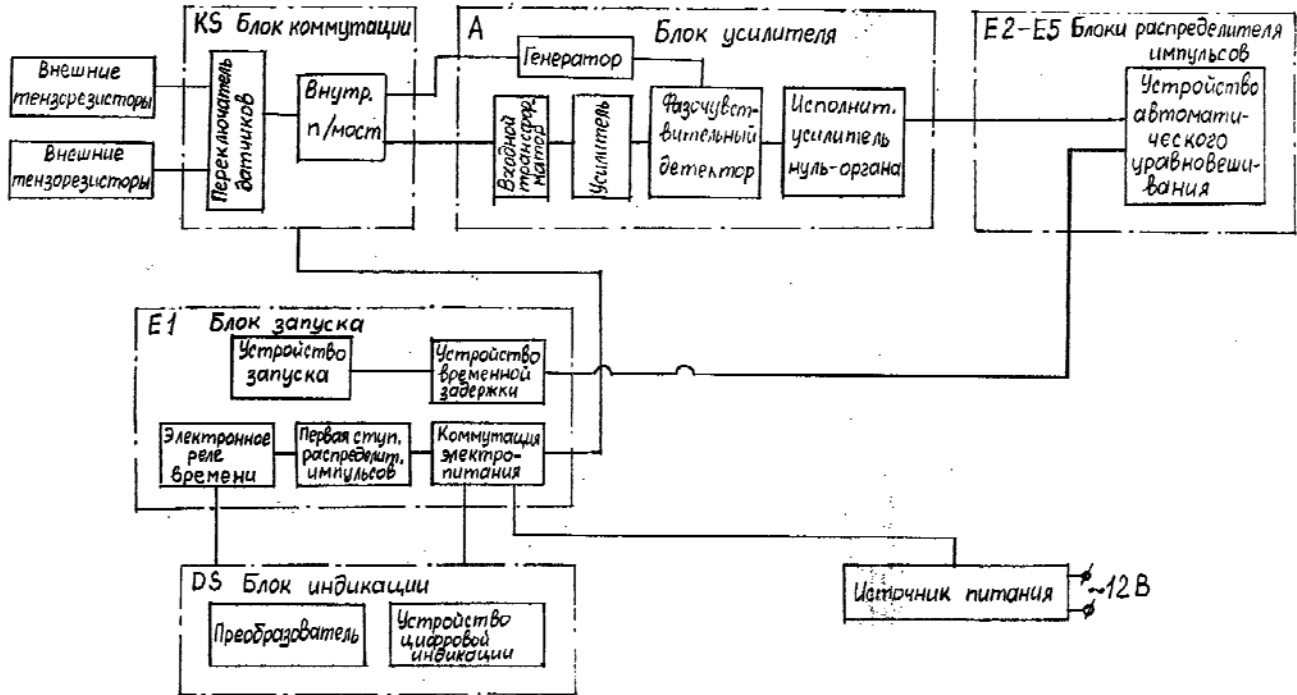


Рис. 6.1. Структурная схема измерителя деформации ИДЦ-1



## Устройство и работа измерителя деформации ИДЦ-1

Внутренний полумост является частью измерительного моста. Активный и компенсационный тензорезисторы, входящие во внешний полумост, наклеиваются на поверхность объекта, подвергающегося деформации сжатия или растяжения.

При воздействии деформации на тензорезистор, включенный во внешний измерительный полумост, происходит разбаланс измерительного полумоста прибора.

Относительное значение изменения сопротивления активного тензорезистора определяет величину деформации:

$$\frac{\Delta R}{R} = k \frac{\Delta l}{l},$$

где  $\frac{\Delta l}{l} = E$  – деформация, еод;

$l$  – длина активного тензорезистора при отсутствии деформации, мм;

$\Delta l$  – изменение длины активного тензорезистора при изменении деформации испытуемого объекта, мм;

$R$  – сопротивление активного тензорезистора при отсутствии деформации, Ом;

$\Delta R$  – изменение сопротивления активного тензорезистора при деформации, Ом;

$k$  – коэффициент тензочувствительности, зависящий от материала тензорезистора.

Сигнал разбаланса с полумоста поступает на вход усилителя. Усиленный сигнал разбаланса поступает на фазочувствительный детектор, вырабатывающий сигнал, полярность которого зависит от фазы разбаланса измерительного полумоста. Далее сигнал через ячейки «И» поступает в блок автоматического уравнивания. В процессе автоматического уравнивания разбаланса моста подключаются компенсирующие резисторы.

В приборе применена поразрядная система уравнивания в двоично-десятичном коде. В пределах каждого из четырех разрядов уравнивание осуществляется четырьмя ступенями во всех декадах, кроме первой, с распределением весовых значений каждой

ступени, а значение ступеней в различных декадах относятся, как 1000:100:10, что дает общую последовательность для всех ступеней (в еод):

			10000
8000	4000	2000	1000
800	400	200	100
80	40	20	10

Таким образом, весь диапазон измерения составляет 19990 еод.

Для обеспечения возможности измерения знакопеременной деформации (растяжения или сжатия) резистор R1 внутреннего полумоста прибора выбран меньше R2 настолько, чтобы при отсутствии деформации (сопротивления активного и компенсационного резисторов равны) имел место разбаланс моста, соответствующий примерно 10000.

Результат измерения определяется как разность абсолютных значений двух показаний прибора:

начального – при ненагруженном объекте;

повторного – при нагруженном объекте.

### **Подготовка ИДЦ-1 к работе**

Перед началом работы необходимо вставить в отсек питания согласно обозначенной полярности восемь элементов «373», закрыть отсек крышкой. При отсутствии элементов можно подключить любой источник постоянного тока 12 В к разъему X10. Необходимо нажать на кнопку «Питание» и проверить наличие напряжения 12 В по индикатору, установленному на лицевой панели прибора.

Проверка работоспособности прибора проводится следующим образом:

1. К переключателю датчиков через разъем X1 подключаются внешние полумосты; к контактам 1–10, 12–21 (рис. 6.2) необходимо подключить активные тензорезисторы; к контакту 22 – компенсационный; контакт 11 является средней точкой для активных и компенсационных тензорезисторов.

2. Нажатием кнопки «Каналы измерения» подключается один из внешних полумостов к схеме прибора.

3. Нажатием кнопки «Пуск» производится начальное измерение при ненагруженном объекте.

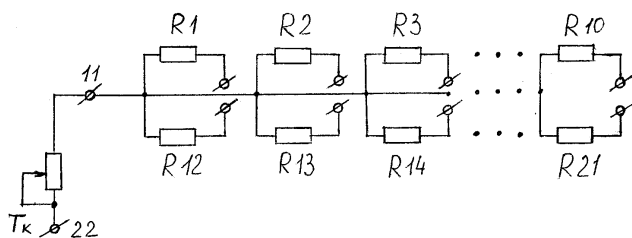


Рис. 6.2. Схема подключения тензорезисторов к ИЦ-1

### Порядок работы

Измерение деформации производится путем кратковременного нажатия кнопки «Пуск». Отсчет показаний – визуальный из цифрового табло. Начальное показание принимается за условный нуль измерения. Величина деформации при коэффициенте тензочувствительности тензорезистора  $k = 2$  определяется по формуле

$$E = \frac{\Delta l}{l} = E_{\text{н}} - E_{\text{н}},$$

где  $E_{\text{н}}$  – начальное измерение;

$E_{\text{н}}$  – измерение при нагруженном объекте.

При коэффициенте тензочувствительности тензорезисторов  $k \neq 2$  истинная относительная деформация вычисляется по выражению

$$E_{\text{п}} = \frac{2}{k} E,$$

где  $E$  – истинная относительная деформация;

$E_{\text{п}}$  – относительная деформация, измеренная прибором.

Для уменьшения влияния активного сопротивления линии (проводов, соединяющих прибор с внешними тензорезисторами) рекомендуется применять линии по возможности малой длины и сечением каждого провода не менее  $0,75 \text{ мм}^2$ .

При работе с линиями длиной более 10 м необходимо в показания прибора вводить поправочный коэффициент, зависящий от величины активного сопротивления соединительной линии, или производить тарировку применяемых тензорезисторов совместно с соединительной линией.

## Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Принципиальная схема измерителя деформации ИДЦ-1.
3. Схема подключения тензорезисторов к прибору.

## Контрольные вопросы

1. Какие функции выполняют элементы, входящие в принципиальную схему измерителя деформации ИДЦ-1?
2. Каким образом скоммутировать рабочие и компенсационные тензорезисторы для подключения к измерителю деформации (пояснить на схеме)?
3. Для чего используются в схеме компенсационные тензорезисторы?
4. С каким сопротивлением допускается использование рабочих тензорезисторов для измерения деформации прибором ИДЦ-1?
5. Что понимается под тензочувствительностью тензорезистора и от каких параметров она зависит?
6. Какая последовательность подготовки ИДЦ-1 к работе?
7. Каким образом производится замер деформации с помощью ИДЦ-1?
8. Как определяется величина деформации при коэффициентах тензочувствительности тензорезисторов  $k = 2$  и  $k \neq 2$ ?
9. Что понимается под одной единицей дискретности?
10. В каком диапазоне измеряемых деформаций может работать ИДЦ-1?
11. Какая максимальная длина кабеля рекомендуется от прибора до исследуемого объекта?
12. Что необходимо сделать, чтобы уменьшить погрешность измерений при длине линий связи от прибора до исследуемого объекта, превышающей рекомендованную?

## *Лабораторная работа № 7*

# **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОРМОЗНОГО КРАНА ПНЕВМАТИЧЕСКОГО СЛЕДЯЩЕГО ПРИВОДА**

### **Цель работы**

1. Изучить конструкцию и принцип действия двухсекционного тормозного крана прямого действия.
2. Экспериментально определить статическую характеристику тормозного крана прямого действия.

### **Общие сведения**

Тормозной кран (ТК) предназначен для управления подачей сжатого воздуха, поступающего от ресиверов к исполнительным органам тормозной системы мобильной машины.

По принципу действия тормозные краны бывают прямого и обратного действия, а также комбинированные. В кранах прямого действия при увеличении управляющего усилия, прикладываемого к нему (процесс торможения), давление в полости крана возрастает, а в кранах обратного действия – уменьшается.

Тормозные краны по числу обслуживаемых или автономных контуров привода подразделяются на одно-, двух-, трех- и многосекционные. Секции могут быть расположены последовательно, параллельно или комбинированно.

Односекционные краны используются в одноконтурных тормозных приводах мобильных машин, а также в многоконтурных для управления отдельными контурами. Двухсекционные краны предназначены для управления двухконтурным приводом одиночного транспортного средства. В этом случае тормозной привод прицепа (полуприцепа) управляется от обеих секций крана тягача. Трехсекционный кран используется для управления тормозами автопоезда. При этом двумя секциями управляются тормоза тягача, а третьей – тормоза прицепа. Комбинированные тормозные краны имеют от двух до четырех секций, причем одна из них обратного действия, которой управляются тормоза прицепа при однопроводном приводе.

Управление тормозным краном может быть непосредственным и дистанционным. Оно осуществляется механически с помощью рычагов и тяг, а также гидроприводом.

Двухсекционный тормозной кран (рис. 7.1, а) имеет две последовательно расположенные секции, плоские резиновые клапаны и поршневой следящий механизм с резиновой втулкой. Привод крана – механический, дистанционный.

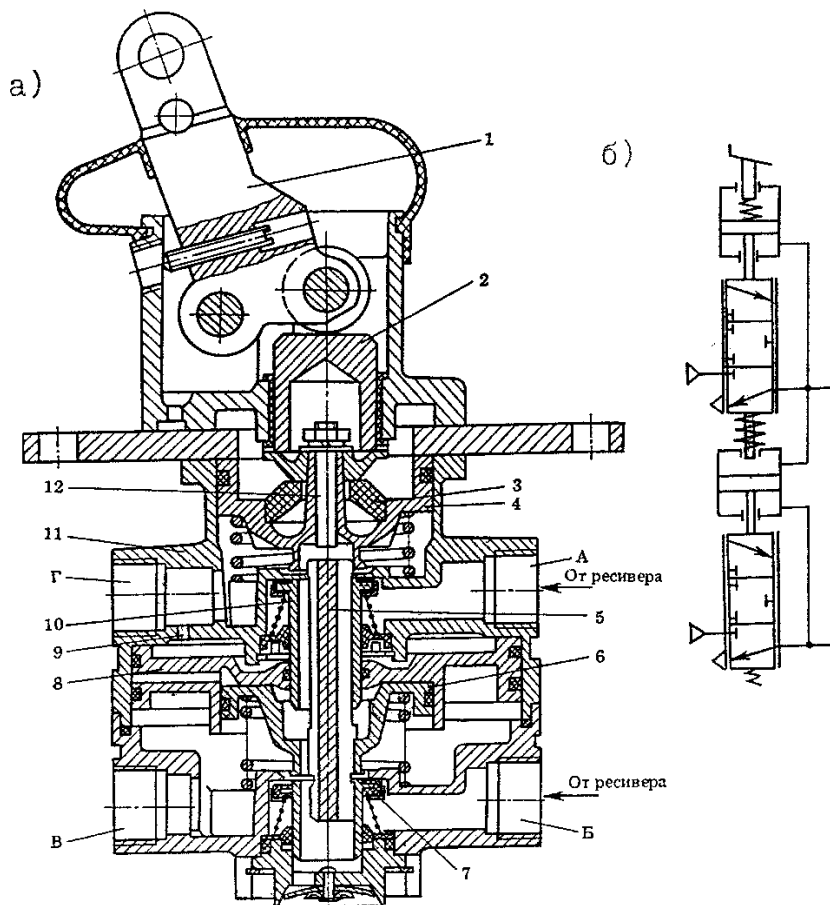


Рис. 7.1. Двухсекционный тормозной кран с последовательным расположением секций (а) и его схематическое изображение (б):

- 1 – рычаг; 2 – толкатель; 3 – втулка; 4, 6, 8 – поршни; 5 – шток; 7, 10 – клапаны;  
9 – отверстие; 11 – корпус крана; 12 – упорный болт

В исходном положении (тормозная педаль отпущена) под действием пружин следящие поршни 4 и 6 занимают крайнее верхнее положение. Как одно целое с этими поршнями изготовлены выпускные седла клапанов крана, поэтому выпускные окна клапанов 10 и 7 открыты и тормозные камеры через выводы Г и В, полый шток 5 соединены с атмосферой. Под действием пружин клапаны 10 и 7 прижаты к неподвижным седлам, расположенным в корпусе крана, а выводы А и Б, к которым подводится воздух от ресиверов отдельных контуров, разобщены соответственно с выводами Г и В.

При торможении усилие от педали через рычаг 1, толкатель 2 и упругую резиновую втулку 3 передается на верхний следящий поршень 4. Подвижное седло клапана 10, перемещаясь вместе с поршнем 4, закрывает выпускное окно этого клапана и перекрывает сообщение через вывод Г тормозных камер с атмосферой, а затем отрывает клапан 10 от неподвижного седла. Сжатый воздух через вывод А, соединенный с ресивером, и открытый клапан 10 поступает в полость крана и далее к выводу Г. К последнему подключается магистраль управления тормозами передней оси транспортного средства, а также трубопровод, соединяющий эту магистраль с одной из управляющих полостей крана управления тормозами прицепа с двухпроводным приводом. Давление в верхней полости крана возрастает до тех пор, пока сила нажатия на резиновую втулку 3 в результате повышения давления в полости крана не уравновесится усилием, действующим на следящий поршень 4. В этом случае клапан 10 садится на неподвижное седло и воздух в тормозные камеры контура не поступает.

При увеличении давления в верхней полости крана воздух через отверстие 9 в корпусе 11 поступает в надпоршневую полость большого поршня 8, который совместно со следящим поршнем 6 перемещается вниз и открывает клапан 7. Сжатый воздух через вывод Б, соединенный с ресивером, поступает через клапан 7 к выводу В. К этому выводу подключается магистраль управления тормозами задней оси транспортного средства, а также трубопровод, соединяющий эту магистраль с другой управляющей полостью крана управления тормозами прицепа с двухпроводным приводом. Давлением сжатого воздуха, находящегося в пространстве под поршнями 8 и 6, уравновешивается сила, действующая на поршень 8 сверху. В нижней полости крана и в тормозных камерах задней оси устанавлива-

ется давление, соответствующее усилию нажатия на резиновую втулку 3. При снятии усилия с рычага 1 поршень 4 перемещается вверх, клапан 10 прижимается к неподвижному седлу, а вывод Г через выпускное окно клапана и полый шток 5 сообщается с атмосферой. Уменьшение давления в верхней полости вызывает перемещение поршня 8 вверх, в результате чего клапан 7 также садится на седло в корпусе и вывод В соединяется с атмосферой.

При повреждении первого контура (верхней секции) усилие от рычага через упорный болт 12 передается на полый шток 5, жестко связанный со следящим поршнем 6 нижней секции, и открывает клапан 7. Таким образом, вторая секция будет управляться механически. При этом сохраняется ее следящее действие, так как сила, действующая сверху на шток поршня 6, будет уравниваться усилием на поршне, возникающим в результате повышения давления в полости нижней секции. При повреждении второго контура (нижней секции) поршень 8 садится на нижний упор в корпусе 11 крана и верхняя секция работает обычным образом.

Статической характеристикой тормозного крана считается график зависимости давления на его выходе от перемещения рычага управления (тормозной педали), т.е.  $p_{\text{вых.}} = f(h)$ .

### Описание экспериментальной установки

Определение статической характеристики тормозного крана прямого действия производится на экспериментальной установке (рис. 7.2, а), являющейся частью стенда для определения статических характеристик аппаратов пневматической тормозной системы.

Установка содержит воздушный баллон (БВ), магистрально подключенный через краны КР1 и КР2 управления подачей воздуха ко входу (к отдельным секциям) тормозного крана. Выход тормозного крана соединен гибкими трубопроводами через штуцеры Е и Д с контрольными баллонами БК1 и БК2. Давление в воздушном баллоне БВ, на выходе кранов КР1, КР2, а также в контрольных баллонах БК1 и БК2 замеряется соответственно манометрами М1 – М5.

Заполнение воздушного баллона сжатым воздухом и поддержание необходимого давления (0,7...0,72 МПа) в процессе испытаний тормозного крана обеспечивается компрессорной установкой (на рис. 7.2, а не показана).



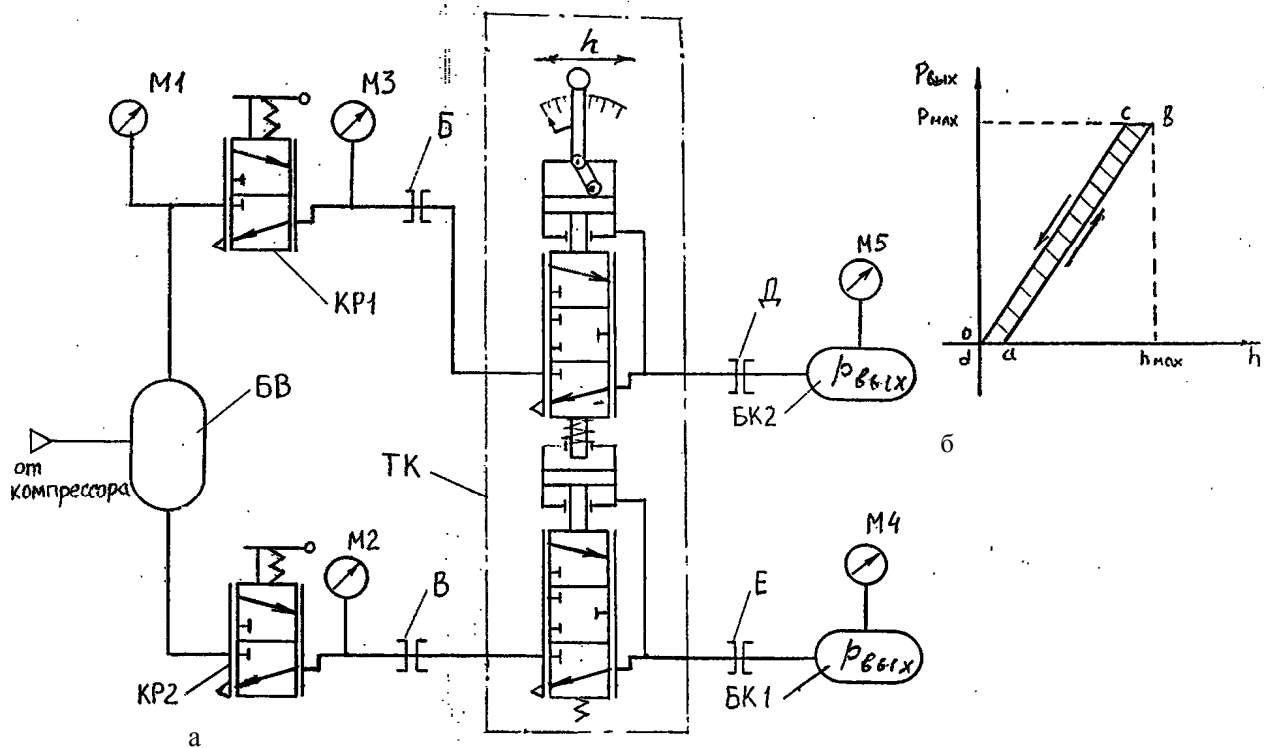


Рис. 7.2. Схема установки для испытаний тормозного крана (а) и его примерная статическая характеристика (б):  
 БВ – воздушный баллон; КР1, КР2 – краны управления подачи воздуха; М1 – М5 – манометры;  
 Б, В, Д, Е – соединительные штуцеры; ТК – тормозной кран; БК1, БК2 – контрольные баллоны

Методика испытаний заключается в опытном определении давления в контрольных баллонах БК1 и БК2, имитирующих емкость тормозных камер (цилиндров) при торможении и оттормаживании, т.е. при перемещении рычага управления тормозным краном в прямом и обратном направлениях. На основании опытных данных строится статическая характеристика тормозного крана.

### Порядок проведения испытаний

Для проведения испытаний:

1. Включают компрессорную установку, в результате происходит заполнение баллона БВ сжатым воздухом до давления  $0,7 \dots 0,72$  МПа, контролируемого манометром М1.

2. Открывают краны КР1 и КР2, соединяющие воздушный баллон со входом отдельных секций тормозного крана. Давление на входе тормозного крана контролируется манометрами М2 и М3.

3. Медленно перемещают рычаг управления тормозным краном от нуля до максимального значения (5–6 фиксированных значений), при этом повышается давление в контрольных баллонах БК1 и БК2. Для каждого фиксированного перемещения  $h$  рычага показания манометров М4 и М5 заносят в табл. 7.1 (прямой ход).

Т а б л и ц а 7.1

Серия опытов	Прямой ход			Обратный ход		
	Перемещение рычага $h$ , мм	Показания манометров, МПа		Перемещение рычага $h$ , мм	Показания манометров, МПа	
		М4	М5		М4	М5
1	2	3	4	5	6	7

4. При достижении максимального перемещения рычага управления тормозным краном эксперимент (прямой ход) прекращается.

5. Рычаг управления медленно возвращают в исходное (первоначальное) положение (5–6 фиксированных значений). Для каждого фиксированного перемещения  $h$  показания манометров М4 и М5 заносятся в табл. 7.1 (обратный ход).

6. При возвращении рычага управления тормозным краном в исходное положение ( $h = 0$ ) эксперимент (обратный ход) прекращается.

7. По данным табл. 7.1. строят статическую характеристику  $p_{\text{вых.}} = f(h)$  тормозного крана при прямом и обратном ходе (рис. 7.2, б).

На рис. 7.2, б показана примерная статическая характеристика тормозного крана. Линия  $ab$  изображает нарастание давления  $p_{\text{вых.}}$  в контрольных баллонах БК1 и БК2 при увеличении перемещения  $h$  рычага управления тормозным краном (торможение). Линия  $bc$  соответствует возвращению рычага управления в исходное положение, при котором не происходит падения давления в контрольных баллонах. Это обуславливает зону нечувствительности (гистерезис) тормозного крана. Линия  $cd$  соответствует обратному ходу (оттормаживанию), т.е. понижению давления  $p_{\text{вых.}}$  в контрольных баллонах до положения, в котором перемещение рычага управления краном равно нулю.

### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Схема испытательной установки.
3. Результаты испытаний (таблицы, графики).
4. Краткий анализ полученных результатов.

### Контрольные вопросы

1. Какие конструктивные разновидности тормозных кранов вам известны?
2. Как устроен и работает двухсекционный тормозной кран прямого действия?
3. Какими конструктивными элементами обеспечивается следующее действие тормозного крана?
4. Как обеспечивается работоспособность тормозной системы при повреждении одного из контуров пневмопривода?
5. Что понимается под статической характеристикой тормозного крана?
6. Какое влияние оказывает гистерезис на качество работы тормозного крана?
7. Какие факторы оказывают влияние на чувствительность тормозного крана?

8. Каковы особенности статической характеристики, полученной при испытаниях тормозного крана?

### *Лабораторная работа № 8*

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ УСКОРИТЕЛЬНОГО КЛАПАНА ПНЕВМАТИЧЕСКОГО СЛЕДЯЩЕГО ПРИВОДА**

### **Цель работы**

1. Изучить конструкцию и принцип действия ускорительного клапана.
2. Экспериментально определить статическую характеристику ускорительного клапана пневматического следящего привода.

### **Общие сведения**

Ускорительный клапан предназначен для ускорения действия пневматического тормозного привода. Управление ускорительным клапаном осуществляется тормозным краном. Ускорительный клапан вместе с дополнительным ресивером располагается, как правило, вблизи наиболее удаленных от тормозного крана исполнительных пневмоаппаратов, например у тормозных камер задних колес автомобиля. Ускорительный клапан при срабатывании пропускает сжатый воздух из дополнительного ресивера в тормозные камеры по коротким магистралям, чем и достигается сокращение времени срабатывания пневмопривода тормозов, у которых он установлен.

Конструкция ускорительного клапана и его схематическое изображение показаны на рис. 8.1, а, б. Полость А соединяется через вывод 8 с тормозным краном, а полости В и Б – через выводы 7 и 5 соответственно с ресивером (баллоном) и тормозными камерами. При торможении повышается давление в полости А и следящий поршень 1 перемещается вниз, закрывая выпускной клапан 2. В результате полость Б разобщается с атмосферой. Так как клапан 2 связан через шток 3 с впускным клапаном 4, то последний, сжимая пружину 6, открывается при дальнейшем движении поршня 1 вниз, и через него сжатый воздух из полости В поступает в полость Б и далее в тормозные камеры.

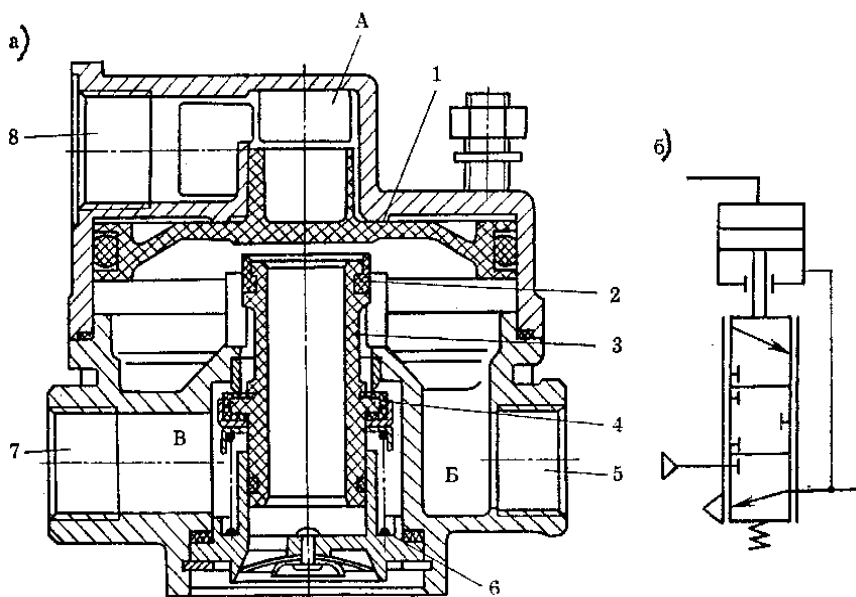


Рис. 8.1. Ускорительный клапан (а) и его схематическое изображение (б):  
 А – вход от тормозного крана; Б – полость, сообщающаяся с тормозными камерами;  
 В – полость, сообщающаяся с ресивером (баллоном); 1 – поршень; 2 – выпускной  
 клапан; 3 – шток; 4 – впускной клапан; 5, 7, 8 – подсоединительные выводы;  
 6 – пружина клапана

Следящее действие ускорительного клапана осуществляется поршнем 1 за счет выравнивания сил от давлений, действующих на него сверху и снизу.

При снятии давления, действующего на поршень 1 сверху, путем выпуска воздуха из полости А через тормозной кран в атмосферу (при оттормаживании) поршень под действием давления и пружины 6 снизу поднимается вверх. Вследствие этого клапан 4 садится на свое седло, и полость Б разобщается с полостью В, соединенной через вывод 7 с ресивером. При этом сжатый воздух из тормозных камер через вывод 5 и клапан 2 выходит в атмосферу.

Статической характеристикой ускорительного клапана считается график зависимости давления на его выходе от управляющего давления, т.е.  $p_{\text{вых.}} = f(p_y)$ .

## Описание экспериментальной установки

Определение статической характеристики ускорительного клапана производится на стенде для определения статических характеристик аппаратов пневматической тормозной системы (рис. 8.2, а).

Установка содержит воздушный баллон (БВ), магистрально подключенный к кранам КР1 и КР2 управления подачей воздуха. Кран КР1 соединяется штуцером Б с управляющей полостью А, а кран КР2 – со входом ускорительного клапана (УК). Выход Z ускорительного клапана подключается штуцером Е к контрольному баллону (БК). Давление в воздушном баллоне и на выходе кранов, а также в контрольном баллоне измеряется соответственно манометрами М1 – М4. Заполнение воздушного баллона сжатым воздухом и поддержание необходимого давления (0,7...0,72 МПа) в процессе испытаний ускорительного клапана обеспечивается компрессорной установкой (на рис. 8.2, а не показана).

Методика испытаний заключается в опытным определении давления в контрольном баллоне, имитирующем емкость тормозных камер (цилиндров) при повышении (прямой ход) и понижении (обратный ход) давления  $p_y$  в управляющей полости ускорительного клапана.

### Методика проведения испытаний

Для проведения испытаний:

1. Включается компрессорная установка и заполняется баллон БВ сжатым воздухом до давления 0,7...0,72 МПа, контролируемого манометром М1.

2. Открывается кран КР2, соединяющий воздушный баллон со входом V ускорительного клапана. Давление на входе УК контролируется манометром М2.

3. Кран КР1 медленно открывается (прямой ход), и повышается давление  $p_y$  в управляющей полости А ускорительного клапана от 0 до 0,7 МПа (6–7 фиксированных значений), которое контролируется манометром М3. Для каждого значения давлений  $p_y$  фиксируются и заносятся в табл. 8.1 (прямой ход) показания манометра М4, с помощью которого измеряется давление в контрольном баллоне (БК).

4. При равенстве давлений на входе (манометр М2) и выходе (манометр М4) ускорительного клапана эксперимент (прямой ход) прекращается.

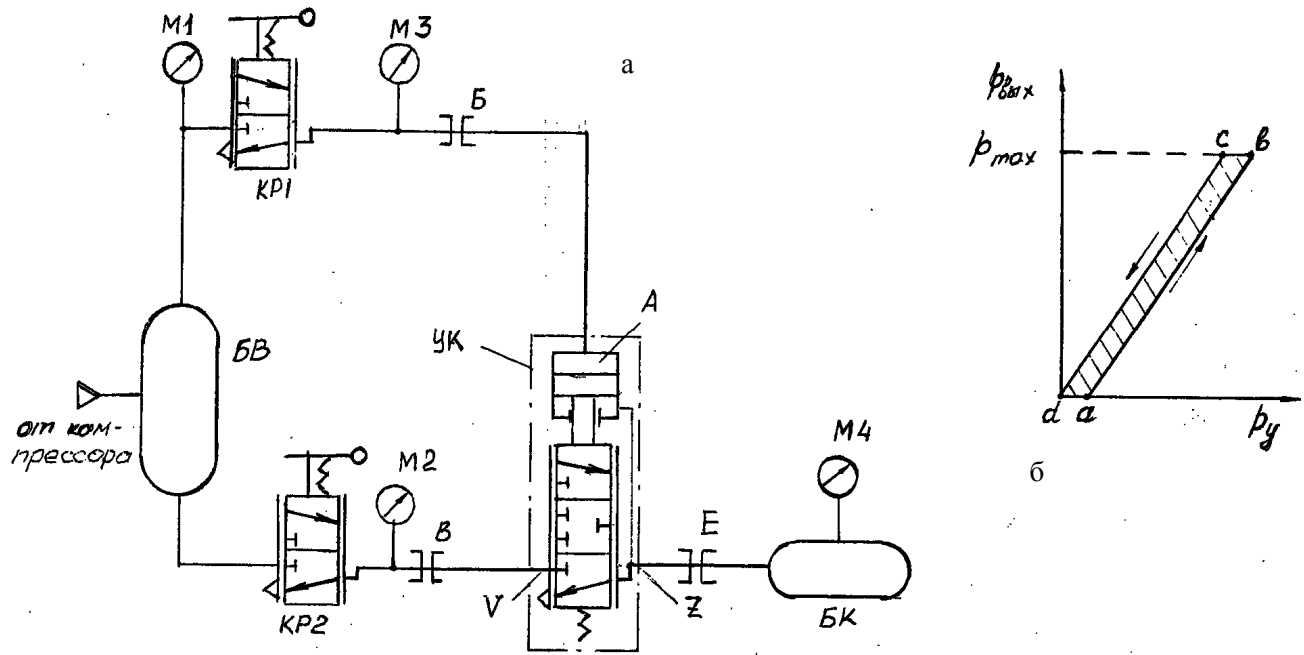


Рис. 8.2. Схема установки для испытаний ускорительного клапана (а) и его примерная статическая характеристика (б):  
 БВ – воздушный баллон; КР1, КР2 – краны управления подачей воздуха; Б, В, Е – соединительные штуцеры;  
 УК – ускорительный клапан; М1 – М4 – манометры; БК – контрольный баллон

5. Кран КР1 медленно закрывается (обратный ход), и давление  $p_y$  в управляющей полости А снижается от максимального значения до нуля. Определение фиксированных значений давления (6–7 значений) в контрольном баллоне при снижении  $p_y$  производится так же, как и при его повышении (прямой ход).

6. Для каждого значения давлений  $p_y$  фиксируются (6–7 значений) и заносятся в табл. 8.1 (обратный ход) показания манометра М4.

7. При давлении  $p_y$  в управляющей полости А, равном нулю, эксперимент (обратный ход) прекращается.

8. По данным табл. 8.1 строится статическая характеристика ускорительного клапана при прямом и обратном ходе (рис. 8.2, б).

Т а б л и ц а 8.1

Серия испытаний	Прямой ход		Обратный ход	
	Давление в управ. полост- ти УК, МПа	Давление в контрольном баллоне, МПа	Давление в управ. полост- ти УК, МПа	Давление в контрольном баллоне, МПа
1	2	3	4	5

На рис. 8.2, б показана примерная статическая характеристика ускорительного клапана.

Линия *ab* изображает нарастание давления  $p_{\text{вых}}$  в контрольном баллоне при повышении управляющего давления  $p_y$  от 0 до  $p_{\text{max}}$ . Линия *bc* соответствует снижению давления в управляющей полости А ускорительного клапана, при котором не происходит падения давления в контрольном баллоне  $p_{\text{вых}}$ , что обуславливает зону нечувствительности (гистерезис) ускорительного клапана. Линия *cd* соответствует обратному ходу, т.е. понижению давления  $p_{\text{вых}}$  до положения, в котором  $p_y$  равно нулю.

### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Схема испытательной установки.
3. Результаты испытаний (таблица, графики).
4. Анализ полученных результатов.



## **Контрольные вопросы**

1. Чем обуславливается необходимость применения ускорительного клапана в пневматическом приводе?
2. Как устроен и работает ускорительный клапан?
3. Какими конструктивными элементами обеспечивается следящее действие ускорительного клапана?
4. По каким параметрам (по усилию, перемещению, расходу, давлению) обеспечивается обратная связь в ускорительном клапане с исполнительными пневмоаппаратами?
5. Что понимается под статической характеристикой ускорительного клапана?
6. Что такое нечувствительность пневмоаппарата и от каких конструктивных параметров она зависит?
7. Каковы особенности статической характеристики, полученной при испытаниях ускорительного клапана?

## *Лабораторная работа № 9*

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПНЕВМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА ТОРМОЗНЫХ СИЛ МОБИЛЬНЫХ МАШИН**

#### **Цель работы**

1. Изучить конструкцию и принцип действия пневматического регулятора тормозных сил.
2. Экспериментально определить статические характеристики пневматического регулятора тормозных сил.

#### **Общие сведения**

Пневматический регулятор тормозных сил транспортных средств предназначен для автоматического изменения давления воздуха в контуре задних тормозов в зависимости от прогиба рессор (нагрузки на мост), что ограничивает возрастание тормозных сил на задних колесах в целях предотвращения их юза. Уменьшение блокировки задних колес исключает занос транспортного средства и повышает безопасность движения.

Конструкция пневматического регулятора тормозных сил, его схематическое изображение и характеристики показаны на рис. 9.1.

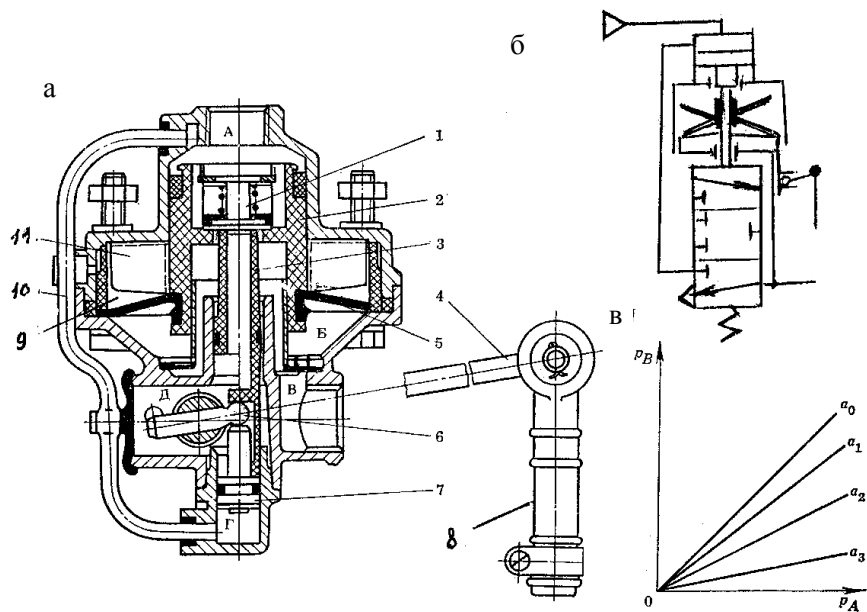


Рис. 9.1. Регулятор тормозных сил (а), его схематическое изображение (б) и характеристики (в):

А – вход от тормозного крана; Б – поддиафрагменная полость; В – полость, соединенная с тормозными камерами; Г – подпоршневая полость; Д – полость, сообщенная с атмосферным выходом; 1 – клапан; 2 – поршень; 3 – толкатель; 4 – рычаг; 5 – мембрана; 6 – шаровая опора; 7 – плунжер; 8 – упругий элемент; 9 – ребра вставки; 10 – соединительная трубка; 11 – ребра поршня

Регулятор тормозных сил устанавливается на раме транспортного средства, а его рычаг 4 через упругий элемент 8 соединяется с балкой моста. Упругий элемент предназначен для защиты регулятора от повреждений и для смягчения резких толчков и вибраций.

Принцип действия регулятора тормозных сил рассмотрим на примере торможения автомобиля.

У груженого автомобиля рычаг 4 и шаровая опора 6 находятся в крайнем положении (верхнем). При торможении такого автомобиля сжатый воздух от тормозного крана поступает в полость А и перемещает поршень 2 вниз, при этом одновременно по трубке 10 по-

ступают сжатый воздух в полость Г и воздействует на плунжер 7, прижимая шаровую опору 6 к толкателю 3. При перемещении поршня 2 вниз вместе с ним движется клапан 1, который сначала упирается в толкатель 3, отсоединяя полости Б и В от выхода в атмосферу, а затем открывается (отрывается от седла поршня 2). В результате этого полость А соединяется с выходной полостью В и сжатый воздух проходит через полость В к тормозным камерам. Одновременно через отверстие в перегородке сжатый воздух проходит в полость Б.

Вставка в корпусе имеет наклонные ребра 9, на которые опирается диафрагма 5 при верхнем положении поршня 2. Между ребрами 9 располагаются ребра 11, которые прикреплены к поршню 2. Их относительное положение по высоте зависит от хода поршня 2, определяемого положением толкателя 3. Чем ниже опускается рычаг 4 и связанный с ним толкатель 3, тем ниже должен опускаться поршень 2 вместе с ребрами 11, а следовательно увеличиваться рабочая площадь диафрагмы, т.е. активная площадь диафрагмы, воздействующая на поршень 2, становится большей.

Если рычаг 4 находится в верхнем положении, что соответствует полной осевой нагрузке, то толкатель 3 также занимает верхнее положение. Для открытия клапана 1 поршень 2 должен переместиться вниз. При малом его перемещении наклонные ребра 11 поршня 2 не выходят ниже ребер 9 и диафрагма 5 опирается только на ребра вставки 11. Следовательно, усилие от диафрагмы 5 на поршень 2 не передается. Площадь поршня 2 со стороны полости А равна его площади со стороны полостей В и Б. В этом случае давления в полостях А и Б должны быть одинаковыми, т.е. характеристика регулятора есть прямая линия ( $0 - \alpha_0$ ) (рис. 9.1, в).

Когда рычаг 4 находится в крайнем нижнем положении, что соответствует наименьшей осевой нагрузке, поршень 2 должен максимально переместиться вниз для открытия клапана 1, так как толкатель 3 также находится в нижнем положении. При максимальном перемещении поршня 2 вниз его наклонные ребра 11 опускаются ниже ребер 9 вставки и, следовательно, активная площадь диафрагмы становится наибольшей. Вследствие того что площадь поршня 2 со стороны полости А намного меньше активной площади диафрагмы, в полостях В и Б устанавливается давление, примерно равное 1/3 давления на входе в регулятор. Этому положению поршня 2

соответствует нижняя характеристика ( $0 - \alpha_3$ ). Все промежуточные характеристики регулятора соответствуют промежуточным осевым нагрузкам и промежуточным положениям рычага 4. Давление в тормозных камерах (цилиндрах) полностью нагруженного автомобиля становится равным давлению на выходе тормозного крана. Если автомобиль нагружен не полностью или совсем не нагружен, то давление в тормозных камерах будет меньше давления на выходе тормозного крана.

При растормаживании давление в полости А регулятора падает и поршень 2 перемещается вверх под давлением воздуха в полости Б. При этом клапан 1 садится на седло поршня 2, разобщая полости А и В, а затем клапан отрывается от толкателя 3. В результате сжатый воздух из тормозных камер выходит через полость В, полый шток 3 и полость Д в атмосферу, отгибая края резинового клапана. Все элементы регулятора возвращаются в исходное положение.

Под статической характеристикой регулятора тормозных сил понимают графики зависимости выходного давления от угла поворота рычага управления  $p_{\text{вых.}} = f(\alpha)$  при постоянном и переменном давлениях на входе в регулятор  $p_{\text{вых.}} = f(p_{\text{вх.}})$ .

### **Описание экспериментальной установки**

Определение статических характеристик регулятора тормозных сил производится на стенде для определения статических характеристик аппаратов пневматической тормозной системы (рис. 9.2, а).

Установка содержит воздушный баллон БВ, магистрально подключенный к крану управления (КР), который штуцером Б соединяется с управляющей полостью А (со входом) регулятора тормозных сил (РТС). Выход Z РТС подключается через штуцер Е к контрольному баллону (БК). Давление в воздушном баллоне, на выходе крана управления и в контрольном баллоне замеряется соответственно манометрами М1 – М3. Заполнение воздушного баллона сжатым воздухом и поддержание необходимого давления (0,7...0,72 МПа) в процессе испытаний обеспечивается компрессорной установкой (на рис. 9.2 не показана).

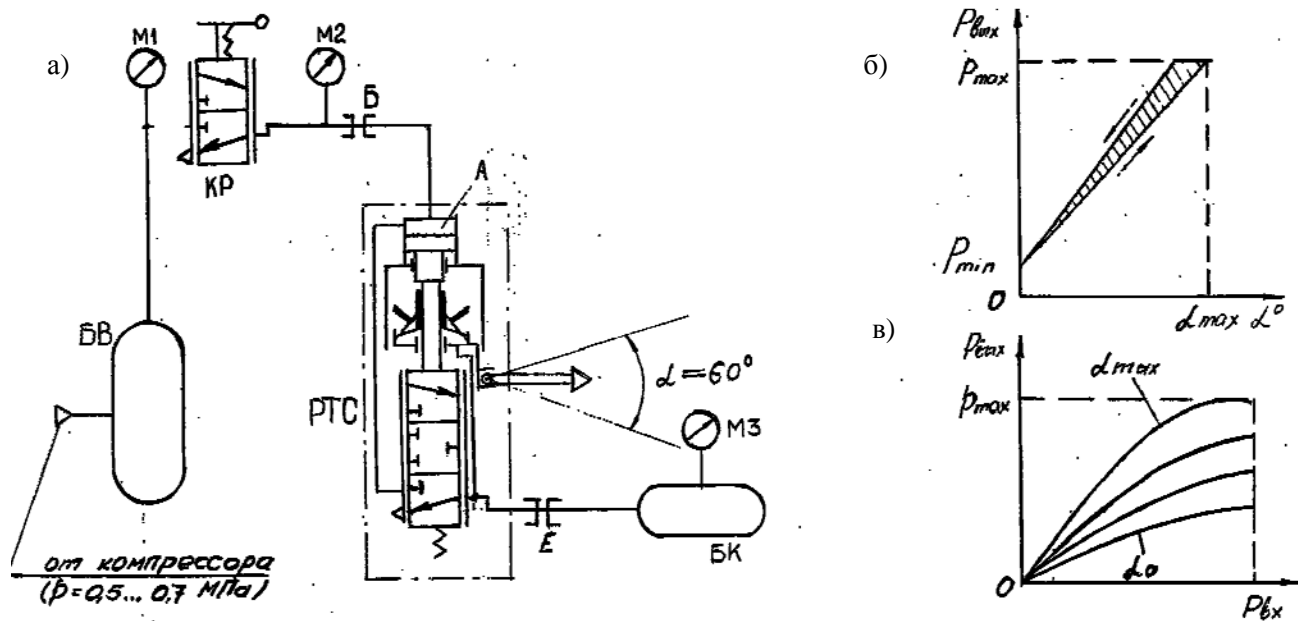


Рис. 9.2. Схема установки для испытаний регулятора тормозных сил (а), график зависимости выходного давления РТС от угла поворота рычага управления (б), статическая характеристика РТС при прямом и обратном ходе (в):  
 БВ – воздушный баллон; КР – кран управления подачей воздуха; Б, Е – соединительные штуцеры;  
 РТС – регулятор тормозных сил; М1 – М3 – манометры; БК – контрольный баллон

Методика испытаний заключается в опытном определении давления в контрольном баллоне, имитирующем емкость тормозных камер (цилиндров), при различных углах поворота ( $\alpha = 0 \dots 60^\circ$ ) рычага управления и постоянном давлении на входе в РТС, а также при постоянном положении рычага управления и переменном давлении на входе в регулятор. На основании опытных данных строятся статические характеристики  $p_{\text{вых.}} = f(\alpha)$  и  $p_{\text{вых.}} = f(p_{\text{вх.}})$  регулятора тормозных сил.

### Порядок проведения испытаний

Испытание регулятора тормозных сил при различных углах поворота рычага управления и постоянном давлении на входе проводится следующим образом:

1. Включается компрессорная установка и заполняется воздушный баллон сжатым воздухом до давления  $0,7 \dots 0,72$  МПа, которое контролируется манометром М1. Кран КР должен быть закрыт.

2. Открывается кран КР и устанавливается постоянное давление ( $0,7$  МПа) на входе в РТС. Входное давление  $p_{\text{вх}}$  в регуляторе контролируется манометром М2.

3. Устанавливается рычаг управления регулятором тормозных сил в крайнее верхнее положение, соответствующее максимальной нагрузке на мост транспортного средства. В этом положении рычага управления давления на входе (М2) и выходе (М3) РТС равны.

4. Рычаг управления регулятора медленно перемещается из верхнего в нижнее положение и через каждые  $\alpha = 15^\circ$  поворота рычага фиксируются и заносятся в табл. 9.1 показания манометра М3 (5 – 6 фиксированных значений), с помощью которого измеряется давление в контрольном баллоне. Показания снимаются как при прямом, так и обратном перемещении (5 – 6 фиксированных значений) рычага управления.

Т а б л и ц а 9.1

Серия испытаний	Угол поворота рычага $\alpha$ , ° (var)	Прямой ход		Обратный ход	
		Давление на входе в РТС, МПа	Давление в контр. баллоне, МПа	Давление на входе в РТС, МПа	Давление в контр. баллоне, МПа
1	2	3	4	5	6

5. По данным табл. 9.1 строится график зависимости выходного давления РТС от угла поворота рычага управления при прямом и обратном его перемещении  $p_{\text{вых}} = f(\alpha)$  (рис. 9.2, б).

Испытание регулятора тормозных сил при заданном положении рычага управления и различных значениях входного давления проводится следующим образом:

1. Включается компрессорная установка и заполняется воздушный баллон (БВ) сжатым воздухом до давления 0,7...0,72 МПа, контролируемого манометром М1. Кран КР должен быть закрыт.

2. Рычаг управления РТС устанавливается в заданное положение ( $\alpha = 0 \dots 60^\circ$ ) и фиксируется.

3. Кран КР медленно открывается, и давление на входе (в полости А) регулятора повышается от 0 до 0,7 МПа (6 – 7 фиксированных значений), которое контролируется манометром М2. Для каждого значения входного давления  $p_{\text{вх}}$  фиксируются и заносятся в табл. 9.2 (прямой ход) показания манометра М3, с помощью которого измеряется давление в контрольном баллоне, т.е. давление на выходе  $p_{\text{вых}}$  регулятора тормозных сил.

4. При максимальном давлении на входе ( $p_{\text{вх}} = 0,7$  МПа) в РТС эксперимент (прямой ход) прекращается.

5. Кран КР медленно закрывается (обратный ход), и давление на входе  $p_{\text{вх}}$  в РТС снижается от максимального значения до нуля. Определение фиксированных значений давления (6 – 7 значений) в контрольном баллоне при снижении  $p_{\text{вх}}$  производится так же, как и при его повышении (прямой ход).

6. При давлении на входе в РТС (в полости А), равном нулю, эксперимент (обратный ход) прекращается.

7. По данным табл. 9.2 строится статическая характеристика РТС  $p_{\text{вых}} = f(p_{\text{вх}})$  при прямом и обратном ходе (см. рис. 9.2, в).

Таблица 9.2

Серия испытаний	Угол поворота рычага $\alpha, ^\circ$ (const)	Прямой ход		Обратный ход	
		Давление на входе в РТС, МПа	Давление в контр. баллоне, МПа	Давление на входе в РТС, МПа	Давление в контр. баллоне, МПа
1	2	3	4	5	6

## Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Схема испытательной установки.
3. Результаты испытаний (таблицы, графики).
4. Анализ полученных результатов.

## Контрольные вопросы

1. Чем обусловлена необходимость применения регулятора тормозных сил на автотранспортных средствах?
2. Как устроен и работает РТС?
3. Какими конструктивными элементами РТС обеспечивается пропорциональность между перемещением рычага управления и изменением выходного давления?
4. Какие характеристики пневмоаппарата называют статическими?
5. Почему регулятор тормозных сил данной конструкции называют лучевым?
6. Что понимается под нечувствительностью (гистерезисом) пневмоаппарата и от каких конструктивных параметров она зависит?
7. Каковы особенности статических характеристик, полученных при испытаниях регулятора тормозных сил?

## *Лабораторная работа № 10*

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО КЛАПАНА ПНЕВМАТИЧЕСКОГО СЛЕДЯЩЕГО ПРИВОДА**

#### **Цель работы**

1. Изучить конструкцию и принцип действия воздухораспределительного клапана.
2. Экспериментально определить статические характеристики воздухораспределительного клапана при работе с одно- и двухпроводными приводами тормозов.



## **Назначение, устройство и принцип действия воздухораспределительного клапана**

Воздухораспределительный клапан устанавливается на прицепе (полуприцепе) и предназначен для управления его тормозами. Он, как правило, универсален, может управлять тормозами как с однопроводными, так и с двухпроводными приводами. Кроме того, воздухораспределительный клапан обеспечивает автоматическое затормаживание прицепа при разгерметизации питающей или управляющей магистралей, а также выполняет функцию ускорительного клапана и клапана быстрого растормаживания. Управление воздухораспределителем осуществляется тормозным краном и клапаном управления тормозами прицепа, установленными на автомобиле-тягаче.

Конструкция воздухораспределительного клапана и его схематическое изображение показаны на рис. 10.1, а, б, в.

При однопроводном приводе соединительная магистраль присоединяется к выводу 4. Сжатый воздух из соединительной магистрали поступает в полость А, отгибая края манжеты 1 поршня 2, и далее через вывод 10 в ресивер (баллон) прицепа. Тормозные камеры прицепа, подключенные к выводу 17, соединяются с атмосферой через открытый выпускной клапан 6, полую втулку 7 и атмосферный вывод 9. При торможении давление в соединительной магистрали прицепа падает. Поршень 2 под действием давления воздуха в полости А преодолевает усилие пружины 11 (см. рис. 10.1, б), перемещается вниз вместе со штоком 3 и малым следящим поршнем 5. При этом выпускной клапан 6 закрывается, а впускной клапан 8 открывается, и сжатый воздух из ресивера прицепа через вывод 10 поступает к выводу 17 и далее к тормозным камерам прицепа. Следящее действие осуществляется малым следящим поршнем 5.

В случае двухпроводного привода питающая магистраль присоединяется к выводу 4, а управляющая – к выводу 14, ресивер и тормозные камеры прицепа – соответственно к выводам 10 и 17. При торможении сжатый воздух поступает через вывод 14 и канал 13 в полость Б и, воздействуя на большой следящий поршень 15, перемещает его вместе с малым следящим поршнем 5 вниз, закрывая при этом выпускной клапан 6 и открывая впускной клапан 8, преодолев усилие пружины 16. Сжатый воздух через открытый клапан 8 из ресивера поступает в тормозные камеры. Следящее действие в этом случае осуществляется поршнем 15. Воздухораспределитель имеет встроенный уравнильный клапан 12. При однопроводном приводе давление, подводимое к

выводу 4, не превышает 0,52 МПа, и клапан не работает. В случае двухпроводного привода при подаче воздуха под давлением 0,7 МПа клапан 12 открывается и давление над поршнем 2 (полость А) и под ним выравнивается. При аварийном падении давления в питающей магистрали ниже 0,53 МПа клапан 12 закрывается, а давление воздуха в ресивере и в полости А не изменяется. При дальнейшем падении давления в питающей магистрали воздухораспределительный клапан тормозит прицеп, как при однопроводной схеме.

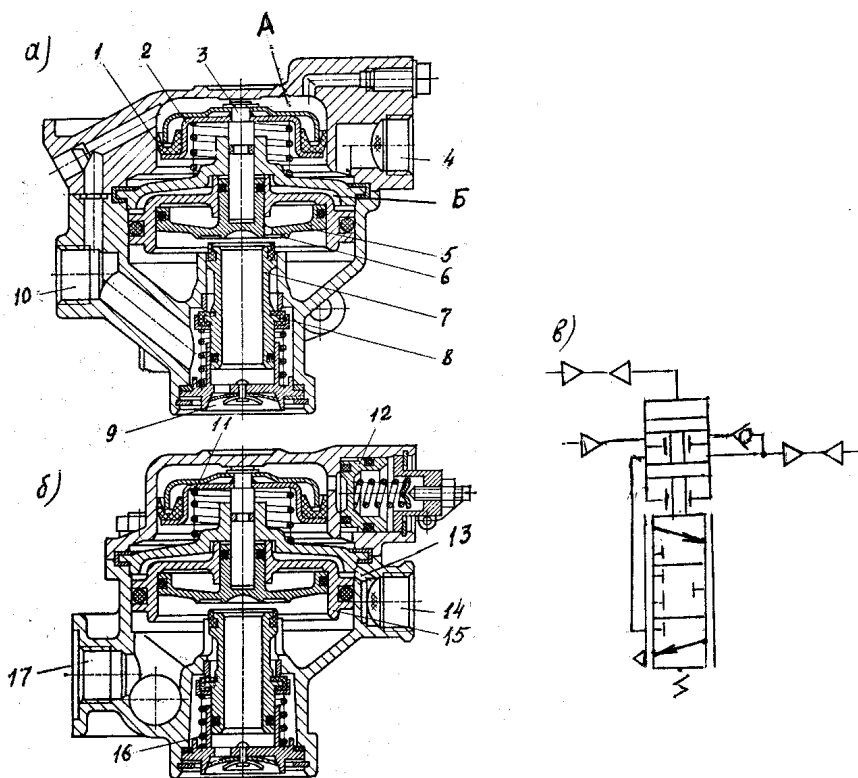


Рис. 10.1. Воздухораспределительный клапан (а, б) и его схематическое изображение (в):

1 – манжета; 2 – поршень; 3 – шток; 4 – вывод соединительной магистрали однопроводного привода управления; 5 – малый следящий поршень; 6 – выпускной клапан; 7 – втулка; 8 – впускной клапан; 9 – атмосферный вывод; 10 – вывод, сообщенный с ресивером (баллоном); 11 – уравновешивающая пружина; 12 – уравнительный клапан; 13 – канал; 14 – вывод управляющей магистрали двухпроводного привода управления; 15 – большой следящий поршень; 16 – пружина клапана; 17 – вывод, сообщенный с тормозными камерами

Статической характеристикой воздухораспределительного клапана считается график зависимости давления на его выходе от управляющего давления  $p_{\text{вых.}} = f(p_{\text{упр.}})$ .

### Описание экспериментальной установки

Определение статических характеристик воздухораспределительного клапана (ВРК) при одно- и двухпроводном приводах управления производится на экспериментальной установке (рис. 10.2), которая является частью стенда для определения статических характеристик аппаратов пневматической тормозной системы.

Установка содержит воздушный баллон (ресивер) БВ1, магистрально подключенный к кранам управления КР1 и КР3. Кран КР1 соединяется штуцером В и пневмомагистралью 1 с полостью А, а кран КР3 штуцером Б и магистралью 3 – с полостью Б воздухораспределительного клапана. Полости Б и С воздухораспределительного клапана входом магистрально соединяются через штуцер Д и кран КР2 с воздушным баллоном БВ2. Выход воздухораспределительного клапана подключается штуцером Е к контрольному баллону БК. Давление в воздушных баллонах БВ1, БВ2, на входе крана КР1 и в контрольном баллоне измеряется соответственно манометрами М1, М3, М2 и М4. При двухпроводном приводе тормозов управления подключение ВРК осуществляется по пневмомагистралам 1, а при однопроводном – по пневмомагистралам 2 (пунктирная линия).

Методика испытаний заключается в опытном определении давлений в контрольном баллоне, имитирующем емкость тормозных камер (цилиндров) при одно- и двухпроводном приводах управления, т.е. при изменении управляющего давления в полостях А (двухпроводный привод) и Б (однопроводный привод) воздухораспределительного клапана. На основании опытных данных строятся статические характеристики  $p_{\text{вых.}} = f(p_{\text{вх.}})$  воздухораспределительного клапана при одно- и двухпроводном приводах управления.

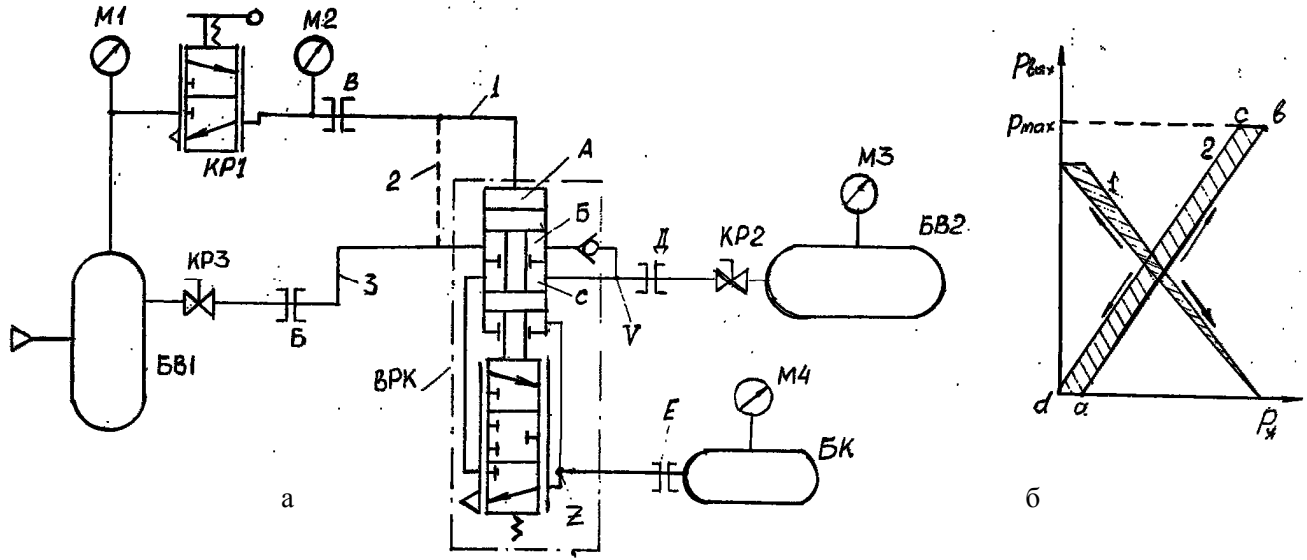


Рис. 10.2. Схема установки для испытаний воздухораспределительного клапана (а) и примерная статическая характеристика ВРК (б):  
 БВ1, БВ2 – воздушные баллоны; КР1 – КР3 – краны управления подачей воздуха; Б, Е, Д – соединительные штуцеры; ВРК – воздухораспределительный клапан; М1 – М4 – манометры; БК – контрольный баллон;  
 1 – двухпроводный привод; 2 – однопроводный привод

## Порядок проведения испытаний

Испытание воздухораспределительного клапана при однопроводном приводе управления проводится следующим образом:

1. Кран КР1 соединяется магистралью 2 с управляющей полостью Б, а пневмомагистраль 1 отключается от ВРК. Краны КР1 и КР2 должны быть открыты, а кран КР3 – закрыт.

2. Включается компрессорная установка, и заполняются баллоны БВ1 и БВ2 сжатым воздухом до давления 0,5...0,52 МПа, контролируемого манометрами М1 и М2.

3. Кран КР1 медленно закрывается (прямой ход), и понижается давление  $P_y$  в управляющей полости Б воздухораспределительного клапана от 0,5 МПа до 0 (5–6 фиксированных значений), которое контролируется манометром М2. Для каждого значения давлений  $P_y$  фиксируются и заносятся в табл. 10.1 (прямой ход) показания манометра М4.

4. При равенстве давлений в воздушном баллоне БВ2 и контрольном баллоне БК эксперимент (прямой ход) прекращается.

5. Кран КР1 медленно открывается (обратный ход), и повышается давление  $P_y$  в управляющей полости Б воздухораспределительного клапана от 0 до 0,5 МПа (5–6 фиксированных значений), которое контролируется манометром М2. Для каждого значения давлений  $P_y$  фиксируются и заносятся в табл. 10.1 (обратный ход) показания манометра М4, с помощью которого измеряется давление в контрольном баллоне БК.

6. При давлении, равном нулю, в контрольном баллоне БК эксперимент (обратный ход) прекращается.

7. По данным табл. 10.1 строится статическая характеристика ВРК (прямой и обратный ход) при однопроводном приводе управления (см. рис. 10.2, б).

Таблица 10.1

Серия испытаний	Прямой ход		Обратный ход	
	Давление в управл. полости ВРК, МПа	Давление в контрольном баллоне, МПа	Давление в управл. полости ВРК, МПа	Давление в контрольном баллоне, МПа
1	2	3	4	5
Однопроводный привод				

Испытание воздухораспределительного клапана при двухпроводном приводе управления проводится следующим образом:

1. Кран КР1 соединяется пневмомагистралью 1 с управляющей полостью А, а магистраль 2 отключается от ВРК. Краны КР2 и КР3 должны быть открыты, а кран КР1 – закрыт.

2. Включается компрессорная установка, и заполняются баллоны БВ1 и БВ2 сжатым воздухом до давления 0,7...0,72 МПа, контролируемого манометрами М1 и М3.

3. Кран КР1 медленно открывается (прямой ход), и повышается давление  $P_y$  в управляющей полости А воздухораспределительного клапана от 0 до 0,7 МПа (6–7 фиксированных значений), которое контролируется манометром М1. Для каждого значения давлений  $P_y$  фиксируются и заносятся в табл. 10.2 (прямой ход) показания манометра М4, с помощью которого замеряется давление в контрольном баллоне БК.

4. При равенстве давлений в воздушном баллоне БВ2 и контрольном баллоне БК эксперимент (прямой ход) прекращается.

5. Кран КР1 медленно закрывается (обратный ход), и давление  $P_y$  в управляющей полости А снижается от максимального значения до нуля. Определение фиксированных значений давления (6–7 значений) в контрольном баллоне при снижении  $P_y$  производится так же, как и при его повышении (прямой ход).

6. Для каждого значения давлений  $P_y$  фиксируются (6–7 значений) и заносятся в табл. 10.2 (обратный ход) показания манометра М4.

7. При давлении в управляющей полости А, равном нулю, эксперимент (обратный ход) прекращается.

8. По данным табл. 10.2 строится статическая характеристика ВРК (прямой и обратный ход) при двухпроводном приводе управления (см. рис. 10.2, б).

Т а б л и ц а 10.2

Серия испытаний	Прямой ход		Обратный ход	
	Давление в управл. полости ВРК, МПа	Давление в контрольном баллоне, МПа	Давление в управл. полости ВРК, МПа	Давление в контрольном баллоне, МПа
1	2	3	4	5
Двухпроводный привод				

На рис. 10.2, б показана примерная статическая характеристика воздухораспределительного клапана.

Линия  $ab$  (линия 2) изображает нарастание давления  $P_{\text{вых}}$  в контрольном баллоне при повышении управляющего давления  $P_y$  (двухпроводный привод) от 0 до  $P_{\text{max}}$ . Линия  $bc$  соответствует снижению давления в управляющей полости А воздухораспределительного клапана, при котором не происходит падение давления в контрольном баллоне  $P_{\text{вых}}$ , что обуславливает зону нечувствительности (гистерезис) ВРК. Линия  $cd$  соответствует обратному ходу, т.е. понижению давления  $P_{\text{вых}}$  до положения, в котором  $P_y$  равно нулю.

### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Схема испытательной установки.
3. Результаты испытаний (таблицы, графики).
4. Анализ полученных результатов.

### Контрольные вопросы

1. Как устроен и функционирует воздухораспределительный клапан при одно- и двухпроводном приводах управления?
2. Какую функцию выполняет уравнительный клапан?
3. Какими конструктивными элементами обеспечивается следящее действие воздухораспределительного клапана?
4. По каким параметрам (по усилию, перемещению, давлению) обеспечивается обратная связь в ВРК с исполнительными пневмоаппаратами (тормозными камерами, цилиндрами)?
5. Как обеспечивается срабатывание ВРК при разгерметизации пневмосистемы?
6. Что понимается под статическими характеристиками пневмоаппарата?
7. Что такое нечувствительность пневмоаппарата и от каких конструктивных параметров она зависит?
8. Каковы особенности статических характеристик ВРК, полученных при одно- и двухпроводном приводах управления?

## Содержание

<i>Правила техники безопасности</i> . . . . .	3
<i>Лабораторная работа № 1</i>	
Конструкция и принцип действия осциллографа. . . . .	3
<i>Лабораторная работа № 2</i>	
Преобразователи неэлектрических величин в электрические. . .	16
<i>Лабораторная работа № 3</i>	
Тензорезисторы и способы их применения. . . . .	26
<i>Лабораторная работа № 4</i>	
Конструкция и принцип действия тензометрических усилителей. . . . .	38
<i>Лабораторная работа № 5</i>	
Конструкция и принцип действия частотомера. . . . .	50
<i>Лабораторная работа № 6</i>	
Конструкция и принцип действия измерителя деформации. . . .	62
<i>Лабораторная работа № 7</i>	
Экспериментальное определение статической характеристики тормозного крана пневматического следящего привода. . . . .	69
<i>Лабораторная работа № 8</i>	
Экспериментальное определение статической характеристики ускорительного клапана пневматического следящего привода. . . . .	76
<i>Лабораторная работа № 9</i>	
Экспериментальное определение статических характеристик пневматического регулятора тормозных сил мобильных машин. . . . .	81
<i>Лабораторная работа № 10</i>	
Экспериментальное определение статических характеристик воздухораспределительного клапана пневматического следящего привода. . . . .	88



Учебное издание

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ  
(Практикум)  
по дисциплине  
«Исследование и испытание гидропневмосистем»  
для студентов специальности  
1-36.01.07 «Гидропневмосистемы мобильных  
и технологических машин»

Составители: КРАВЕЦ Федор Калистратович  
МАКОВСКАЯ Ирина Антоновна

Редактор Е.И.Кортель. Корректор М.П.Антонова  
Компьютерная верстка Н.А.Школьниковой

---

Подписано в печать 05.04.2004.

Формат 60x84 1/16. Бумага типографская № 2.

Печать офсетная. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 5,7. Уч.-изд. л. 4,4. Тираж 100. Заказ 32.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.  
Лицензия ЛВ №155 от 30.01.2003. 220013, Минск, проспект  
Ф.Скорины, 65.