

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое автоматизация процессов?
2. Что такое объект управления, управляющее устройство?
3. Как классифицируются системы автоматического управления по назначению — задачам, стоящим перед системами?
4. Каковы основные функциональные элементы системы автоматического измерения?
5. Основные виды погрешностей.
6. Что понимается под классом точности прибора?
7. Что такое управление по отклонению, по возмущению?
8. Что понимается под экстремальным управлением?
9. Что такое кибернетика?
10. Каково главное назначение обратной связи в системах управления и регулирования?

ГЛАВА II

ДАТЧИКИ КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ

§ 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ДАТЧИКОВ

Датчик (измерительный преобразователь) — средство измерения, которое преобразует измеряемую физическую величину в сигнал для передачи, обработки или регистрации.

Основные функции датчиков — преобразование одной физической величины (давления, температуры, перемещения и т. д.) в другую, обычно электрическую. Первый преобразователь, непосредственно воспринимающий параметр состояния (например, температуру, давление, перемещение машин и их частей), называется *чувствительным элементом* датчика. Параметр состояния как физическая величина может быть представлен в единицах ее измерения (например, давление — в Па) или в косвенных показателях (например, то же давление — пропорционально величине электрического сопротивления). После основного (воспринимающего) элемента в системе датчика может устанавливаться другой преобразователь, служащий для получения в удобной форме сигнала о параметре. Вид выходного сигнала зависит от условий дальнейшего его использования.

В простейшем случае датчик состоит из одного преобразующего элемента, выполняющего две функции: восприятия и преобразования. К таким датчикам относятся, например, термометр сопротивления, термопара. Сложные датчики могут состоять из большего числа преобразующих элементов, каждый из которых в других устройствах может использоваться как самостоятельный датчик. Параметр состояния, воспринимаемый чувствительным элементом, называется входной величиной датчика, а сигнал последнего преобразующего элемента — выходной величиной.

Датчики классифицируют по характеру входного и выходного сигналов, а также по принципу действия. По входному сигналу (по назначению) различают датчики температуры, перемещения (скорости), давления и др. По выходному сигналу датчики делят на неэлектрические и электрические, а последние — на параметрические и генераторные. По принципу действия различают датчики активного сопротивления, емкостные, электромагнитные, термоэлектрические и др. В *параметрических* датчиках под действием входного сигнала изменяется какой-либо параметр датчика (сопротивление, емкость, индуктивность) и соответственно его выходная величина. Для работы параметрических датчиков требуется внешний источник энергии. *Генераторные* датчики под действием входного сигнала генерируют ЭДС и не требуют дополнительного источника энергии. Такие датчики включают термопары, фотоэлементы, генераторы напряжения.

Свойства датчиков определяются их статическими, динамическими и частотными характеристиками и оцениваются рядом показателей.

Чувствительность датчика определяют исходя из его статической характеристики. Чувствительность K равна отношению изменения выходного сигнала ΔY к изменению входного сигнала ΔX ($K = \Delta Y / \Delta X$) и является размерной величиной. У линейных датчиков чувствительность во всем рабочем диапазоне измерений одинакова, а уравнение статики имеет вид: $Y = KX + X_0$.

Инерционность датчика заключается в запаздывании появления или исчезновения сигнала на выходе по сравнению с моментом появления или исчезновения сигнала на входе.

Минимальное значение входного сигнала, которое

можно обнаружить с помощью данного датчика, составляет его порог чувствительности, а максимальное значение входного сигнала, которое может быть воспринято датчиком без искажения и повреждения, — предел преобразования. Разница между пределом преобразования и порогом чувствительности составляет *динамический диапазон* измерения.

На СДМ устанавливают электрические и неэлектрические датчики. Полученные с их помощью данные в дальнейшем используют для информирования машиниста о состоянии узлов и агрегатов машины и для автоматического регулирования контролируемых процессов. В первом случае на приборном щитке устанавливают вторичные датчики (указатели), преобразующие сигнал первичного датчика в сигнал, удобный для визуального наблюдения (световая и стрелочная индикация). Во втором случае датчик является частью системы автоматического регулирования.

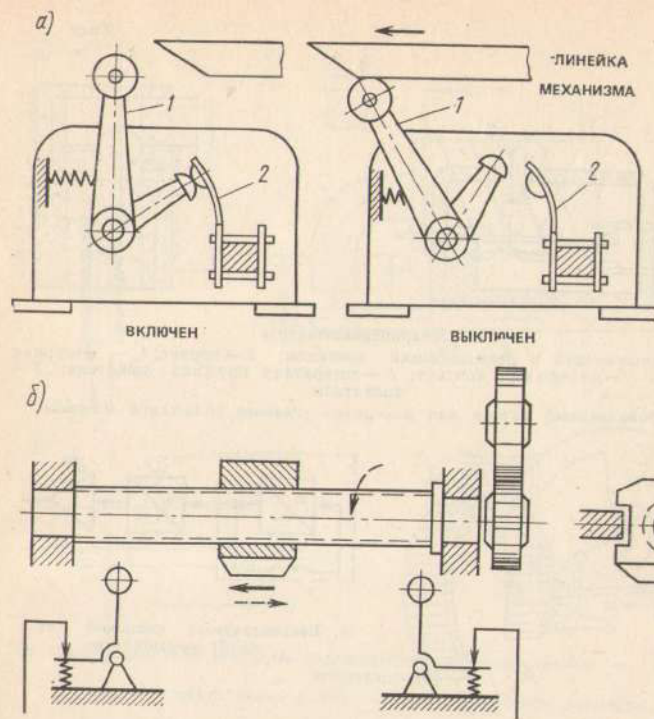
§ 8. ДАТЧИКИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

Устройства, служащие для получения информации о положении элементов, устройств, механизмов или их частей путем преобразования линейных или угловых перемещений в электрические или другие величины, называются датчиками перемещения или положения.

Простейшее устройство двухпозиционного (релейного) типа для контроля положения механизмов или их частей — концевой или путевой выключатель.

Контактный концевой (конечный) выключатель рычажного типа, ограничивающий линейное перемещение (рис. 14, а) работает следующим образом. При достижении механизмом или его частью какого-либо крайнего положения этот механизм нажимает на рычаг 1 концевой выключателя, который переключает контактную группу 2.

Для ограничения углового перемещения механизма служит, например, шпindelный выключатель (рис. 14, б). Он имеет винт, соединенный с валом механизма через зубчатую или цепную передачу, при вращении которого гайка (кулачок) перемещается до наезда на левый или правый выключатель. В редукторных выключателях вращение от вала механизма передается рычагу выключателя через червячный редуктор, а также

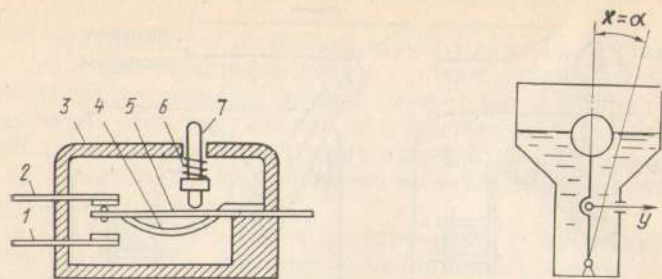


14. Концевые выключатели
а — рычажный; б — шпindelный; 1 — рычаг; 2 — контактная группа

замыкающие и размыкающие кулачковые шайбы, смонтированные на его выходном валу.

В слаботочных системах автоматического управления распространены так называемые микропереключатели (рис. 15). Они имеют один замыкающий 1 и один размыкающий 2 контакты, расположенные в корпусе 3. С помощью пружины 4 и толкателя 7 приводится в действие подвижный контакт 5. Толкатель приводится в движение рабочим органом машины, положение которого контролируется. В приведенной схеме концевой выключатель выключает привод рабочего органа, когда последний достигает крайнего положения. Второй контакт концевой выключателя может быть использован для включения, например, механизма реверса.

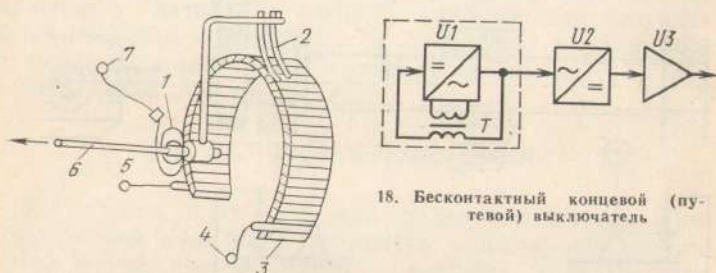
Датчики углового положения (ДУП) предназначены для автономного контроля углового по-



15. Микропереключатель

1, 2 — замыкающий и размыкающий контакты; 3 — корпус; 4 — фигурная пружина; 5 — подвижный контакт; 6 — возвратная пружина толкателя; 7 — толкатель

16. Поплавковый датчик для измерения углового положения машины



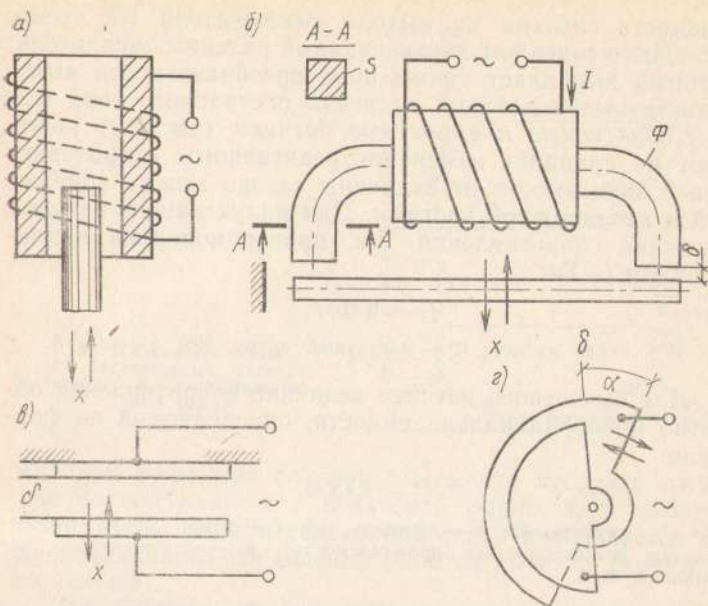
18. Бесконтактный концевой (путевой) выключатель

1 — пружина (электропроводная); 2 — перемещающийся контакт; 3 — обмотка на каркасе; 4, 5, 7 — выводы обмотки; 6 — ось

ложения рабочего органа или рамы СДМ. Они бывают маятниковые или поплавковые (рис. 16). Отклонение машины от горизонтали вызывает поворот корпуса датчика и перемещение штока, с которым связан золотник распределителя.

На рис. 17 показан *реостатный датчик* сопротивления непрерывного действия, представляющий собой реостат с перемещающимся контактом 2. Подвижный контакт жестко укреплен на оси, которая связана с положением механизма. Каждому угловому положению оси соответствует определенная величина сопротивления реостата.

В схемах автоматики помимо контактных датчиков положения применяют индуктивные, емкостные, магнитные, полупроводниковые и другие бесконтактные дат-



19. Преобразователи величины перемещения в индуктивное и емкостное сопротивление

а, б — индуктивные элементы; в, г — емкостные элементы

чики, а также фотоэлементы и гамма-электронные реле. Применение указанных датчиков имеет ряд преимуществ по сравнению с механическими датчиками вследствие отсутствия непосредственного механического контакта между контролируемым движущимся объектом и чувствительным элементом.

На рис. 18 показана функциональная схема бесконтактного концевой выключателя. Преобразователь выключателя представляет собой полупроводниковый генератор. Возникновение или отсутствие в цепи ЭДС U_1 зависит от наличия металлического экрана между его обмотками T . Металлическим экраном может служить выступающий язычок (зубец) на тонком вращающемся диске (для измерения угловых перемещений) или на рейке (для линейных перемещений). С целью повышения разрешающей способности выключателей, уменьшения габаритов чувствительного элемента и обратного воздействия его на контролируемый элемент, а также для получения большей

мощности сигнала на выходе выключателя $U3$ схема последнего содержит двухкаскадный релейный усилитель, который выполняет также роль преобразователя высокочастотных колебаний в сигнал постоянного тока $U2$.

Индуктивные и емкостные датчики (рис. 19) работают на принципе изменения реактивного сопротивления в зависимости от величины зазора между подвижной и неподвижной частями. Для индуктивного датчика величина сопротивления, Ом, пропорциональна индуктивности L , Гн:

$$L = W\Phi/I,$$

где W — число витков; Φ — магнитный поток, Вб; I — ток, А.

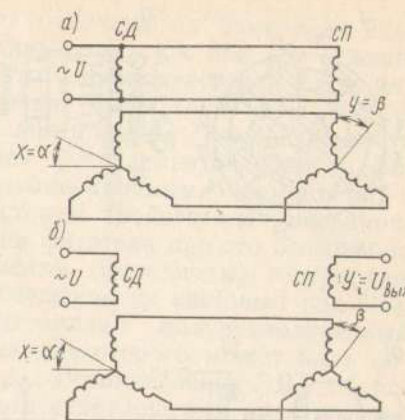
Для емкостного датчика величина сопротивления обратно пропорциональна емкости, определяемой по формуле

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon S/\delta,$$

где C — емкость, Ф; S — площадь, м²; δ — зазор, м; ε — относительная диэлектрическая проницаемость; ε_0 — электрическая постоянная, Ф/м.

Для измерения углов рассогласования механически не связанных валов, например при дистанционном управлении объектами, могут использоваться специальные электрические машины — сельсинны. Сельсин имеет две обмотки: однофазную и трехфазную, которая состоит из соединенных в звезду трех однофазных обмоток, магнитные оси которых сдвинуты на 120° относительно друг друга. Одна из обмоток располагается на статоре, другая — на роторе.

Сельсинная связь состоит из двух сельсинов: сельсина-датчика СД и сельсина-приемника СП. Концы трехфазных обмоток СД и СП соединяются, однофазная обмотка СД подключается к источнику переменного напряжения. Если однофазная обмотка СП также подключается к тому же источнику питания, сельсинная связь работает в индикаторном (силовом) режиме (рис. 20, а). При повороте ротора СД на некоторый угол α в обмотке статора возникают токи, создающие в ней магнитный поток. При взаимодействии этого потока с магнитным потоком ротора СП, повернутого на угол β , возникает синхронизирующий момент, который стремится устранить рассогласование. Вследствие тре-



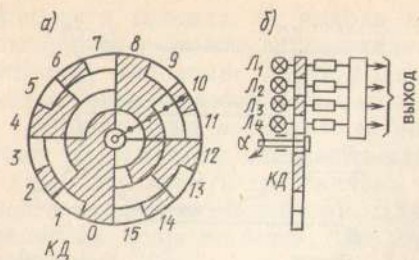
20. Сельсинная связь
а — индикаторный (силовой) режим; б — трансформаторный режим

ния при вращении роторов и момента нагрузки слежение осуществляется с некоторой ошибкой, т. е. $\alpha \neq \beta$. Этот режим работы сельсинной связи используется для дистанционного управления работой объекта (индуктивная схема).

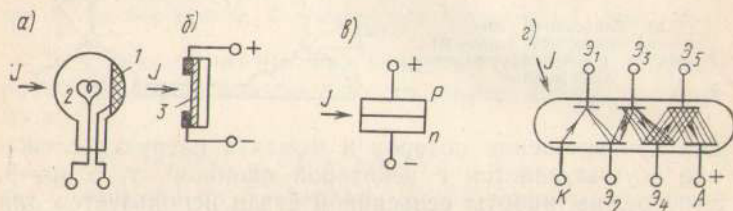
Однофазная обмотка СП может не подключаться к источнику питания (рис. 20, б). В этом случае сельсинная связь работает в трансформаторном режиме и используется как датчик, входным сигналом которого является угол поворота СД (угол рассогласования γ), а выходным — напряжение в однофазной обмотке СП, близкое к $U_{сп} = U_0 \cos \gamma$. Синхронизирующий момент при этом незначителен.

Цифровые датчики углов поворота — основные элементы измерительных систем с цифровым отсчетом. Они являются датчиками дискретного действия. Наиболее широкое применение получили датчики с кодирующим диском (рис. 21).

Кодирующие диски КД наиболее часто выполняются либо контактными, либо с фотоэлектрическим считывающим устройством. В первом случае рисунок кода наносится на диск токопроводящим материалом, считывание производится при помощи щеток, во втором — имеются прозрачные участки (рис. 21, а) кодовой маски. Диск КД просвечивается источником света — лампой Л, расположенной по одну сторону (рис. 21, б), по другую сторону диска располагаются фотоэлементы или фотодиоды. Угол считывается при помощи закодирован-



21. Цифровой датчик углов поворота



22. Фотоэлектрические датчики

а — схема фотоэлемента; б — схема фоторезистора; в — схема фотодиода; г — схема фотоумножителя; 1 — катод; 2 — анод; 3 — слой полупроводника

ного сигнала. Обычно для записи применяют систему двойного счисления.

Фотоэлектрические датчики применяют для дистанционного измерения перемещений. Принцип работы этих датчиков основан на фотоэлектрическом эффекте. Различают следующие фотоэлектрические датчики: фотоэлементы, фоторезисторы, фотодиоды и фототриоды.

Фотоэлемент — это устройство, в котором под действием падающего на него света возникает фототок. Они бывают электровакуумными и полупроводниковыми.

Электровакуумный фотоэлемент представляет собой стеклянную вакуумную колбу с нанесенным внутри с одной стороны слоем катода и с центральным анодом (рис. 22, а). В этом устройстве фотоэлектрический ток насыщения прямо пропорционален величине светового потока J , поглощаемого катодом.

Фоторезисторы — это устройства, имеющие светочувствительный слой однородного полупроводника (селен, сурьма и др.) (рис. 22, б).

Работа фоторезистора основана на изменении сопротивления полупроводникового слоя при его освещении. Следует отметить, что у фоторезисторов изменяется характеристика (величина силы тока) при изменении температуры окружающей среды. Чувствительность фоторезисторов выше, чем фотоэлементов. Однако фотоэлементы являются безынерционными элементами, в то время как фоторезисторам свойственна инерционность процесса нарастания фототока при его освещении.

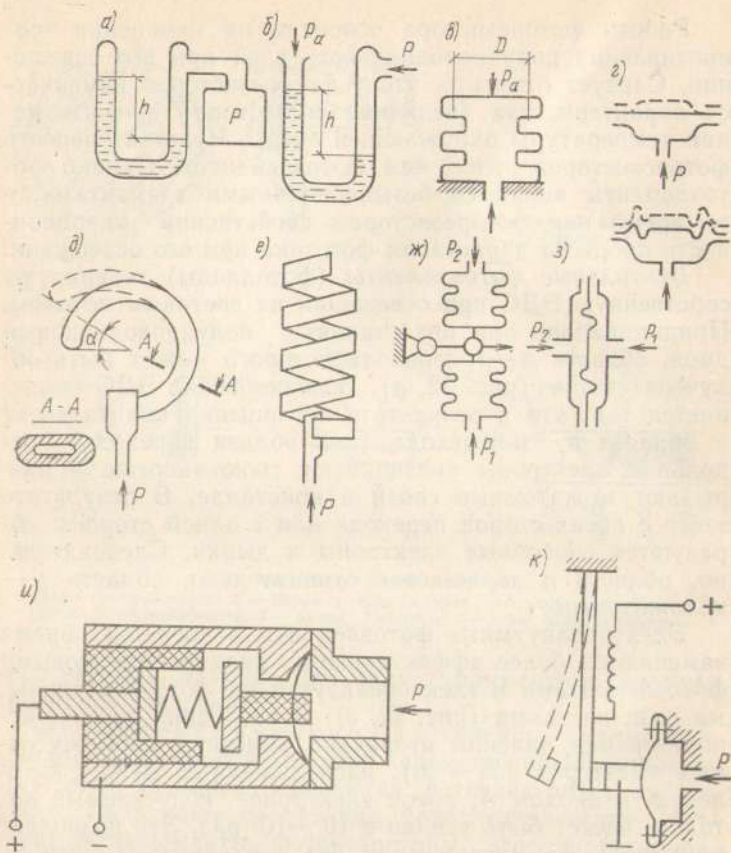
Вентильные фотоэлементы (фотодиоды) генерируют собственную ЭДС при освещении их световым потоком. Принципиально они представляют полупроводниковый диод, область $p-n$ -перехода которого может быть облучена светом (рис. 22, в). Возникновение ЭДС объясняется тем, что в результате поглощения кванта света в области $p-n$ -перехода (или вблизи перехода) отдельные электроны увеличивают свою энергию и разрывают межатомные связи в кристалле. В результате этого с обеих сторон перехода или с одной стороны образуются свободные электроны и дырки. Следовательно, область n заряжается отрицательно, область p — положительно.

Электровакуумные фотоэлементы в последнее время заменяются более эффективными полупроводниковыми фотоэлементами и электровакуумными фотоэлектронными умножителями (рис. 22, г). В последних за счет использования явлений вторичной эмиссии промежуточных эмиттеров ($\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_5$), расположенных между катодом K и анодом A , поток электронов, испускаемый катодом, может быть усилен в $10^5 - 10^6$ раз. Это позволяет применять фотоумножители без последующего усиления сигнала.

С точки зрения динамики фотодиоды безынерционны, однако их характеристики изменяются под воздействием температуры.

§ 9. ДАТЧИКИ СИЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Любые перемещения тел в пространстве происходят только под силовым воздействием на них других тел или полей. Чтобы выявить эти силы и разумно управлять ими, применяют различные силовые датчики. Их условно можно разделить на следующие группы: датчики усилий (давления), непосредственно воспринимаю-



23. Чувствительные элементы давления

а — U-образная запаянная трубка; *б* — U-образная незапаянная трубка; *в* — сильфон; *г* — мембрана; *д, е* — трубчатые пружины; *ж, з* — дифференциальные датчики; *и, к* — контактный и тепловой датчики давления

щие давление жидкостей и газов; датчики деформации твердых тел; датчики колебаний.

Давление — сила, приходящаяся на единицу площади. При определении давления применяют в основном первичные преобразователи силы, связанные: с изменением высоты столба жидкости, перемещением упругих элементов, электрическим сопротивлением или электрической силой.

В табл. 1 приведены основные чувствительные элементы датчиков силового воздействия, показанные на рис. 23—28.

Как показано на рис. 23, действие механических чувствительных элементов давления сводится к зависимости (кроме жидкостных элементов)

$$\Delta b = k \Delta p,$$

где Δb — величина перемещения элемента, мм;
 k — коэффициент, обуславливающий геометрические размеры и механические свойства элемента;
 Δp — изменение давления, Па.

Для жидкостного U-образного элемента уровень жидкости равен:

$$h = (p - p_a) / \gamma,$$

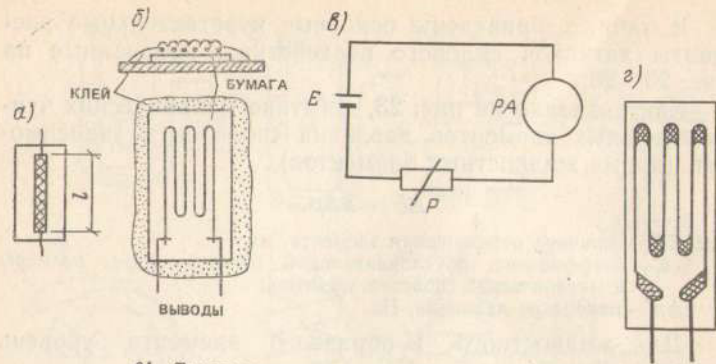
где p — давление в сосуде (давление рабочей среды), Па;
 p_a — атмосферное давление, Па;
 γ — удельный вес жидкости, Н/м³.

1. Классификация и принцип действия чувствительных элементов датчика силового воздействия

Параметр	Чувствительный элемент	Преобразуемый параметр	Схема на рис. №
Давление	Жидкостный	Высота столба жидкости от давления	23, а, б
>	Сильфон	Перемещение свободного конца герметичной гофрированной трубки	23, в
>	Мембрана	Перемещение плоскости гофрированной пластины	23, г, и, к
>	Трубчатая пружина	Угол раскручивания пружины	23, д, е
Деформация (давление)	Тензометр	Электрическое сопротивление	24, 25
Колебания (упругая деформация)	Пьезоэлектрический кристалл	Электрический заряд элемента (пьезоэлектрический эффект)	27, 28

Все рассмотренные элементы, кроме жидкостного с запаянной трубкой, являются дифференциальными, так как элементы находятся под действием разности давлений $p - p_a$.

При необходимости измерять разность давлений в двух точках p_1 и p_2 удобнее применять специальные



24. Тензометрические чувствительные элементы
 а — тензолит; б — проволочный элемент; в — схема включения датчика; г — фольговый элемент

дифференциальные чувствительные элементы, используя те же сильфоны или мембраны (рис. 23, ж, з).

При частых колебаниях давлений упругие чувствительные элементы вследствие их инерционности применять нецелесообразно, а иногда и невозможно. В этих случаях, а также в случае определения деформации (результат воздействия давления на тело) применяют специальные *тензометрические* или *пьезоэлектрические датчики*.

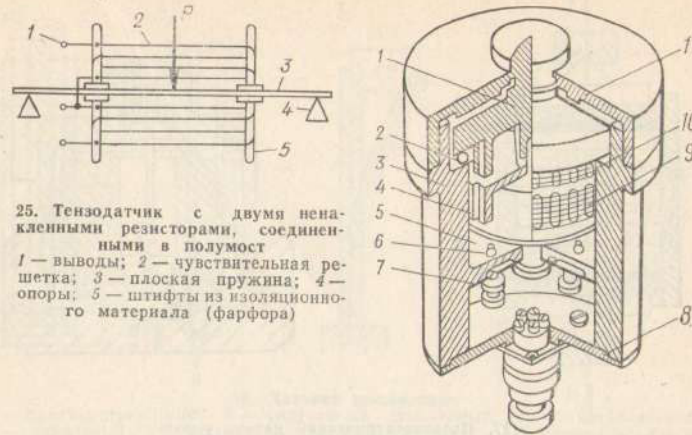
Принцип действия тензометрических датчиков (рис. 24) основан на тензометрическом эффекте — зависимости электрического сопротивления чувствительного элемента (уголь, графит, металл, полупроводник) от его деформации.

Элементы, выполненные в виде стержня из порошка угля, сажи или графита, наклеенного на полоску бумаги (рис. 24, а), называются *тензолитами*.

Более широкое распространение получили датчики с проволочными чувствительными элементами (рис. 24, б). На полоску бумаги наклеивают зигзагообразную тонкую константовую или нихромовую проволоку с медными выводами.

Схема включения датчика изображена на рис. 24, в. При изменении силы P изменяются размеры тела (детали), на которые наклеен тензодатчик. Это вызывает изменение его длины и, следовательно, его электрического сопротивления, регистрируемого прибором РА.

Датчики, в которых проволочная решетка заменена



25. Тензодатчик с двумя нена-
 кленными резисторами, соединен-
 ными в полумост
 1 — выводы; 2 — чувствительная ре-
 шетка; 3 — плоская пружина; 4 —
 опоры; 5 — штифты из изоляцион-
 ного материала (фарфора)

26. Датчик DSTB-C-016

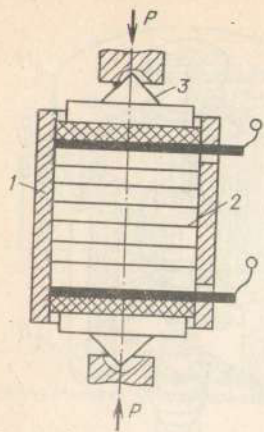
1 — упругий элемент; 2 — опорный шарикоподшипник; 3 — корпус; 4 — опора тензорезисторов; 5 — каркас компенсационных резисторов; 6 — проходной изолятор; 7 — плата контактная; 8 — нижняя крышка; 9 — резистор температурной компенсации; 10 — тензорезистор; 11 — верхняя крышка

решеткой из тонкой фольги, обладают значительно меньшей чувствительностью к поперечным деформациям, так как на закруглениях решетки имеет значительно большее сечение, в связи с чем чувствительность этого датчика к поперечным деформациям ничтожна.

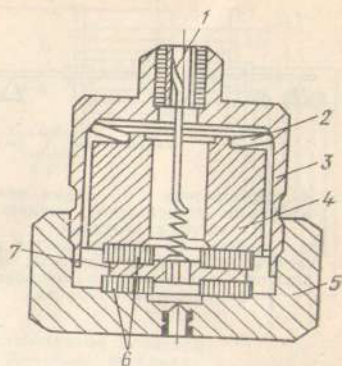
В практике испытаний конструкций применяют датчики с непетлевой решеткой, которые практически не имеют поперечной чувствительности. Решетка в этих датчиках образуется пучком параллельных тонких проволок, которые располагаются один от другого на расстоянии 0,2—0,6 мм и последовательно соединяются низкоомными перемычками из тонкой фольги. Эти датчики, как и фольговые, обеспечивают высокую стабильность измерений.

Деформации при высоких температурах измеряют датчиками с термокомпенсированной решеткой, состоящей из двух материалов с различными температурными коэффициентами сопротивления, например из константана и меди.

В последние годы более широко применяются полупроводниковые тензорезисторы, которые обладают зна-



27. Пьезоэлектрический датчик усилий
1 — корпус; 2 — пьезоэлектрические пластины; 3 — опорная плита

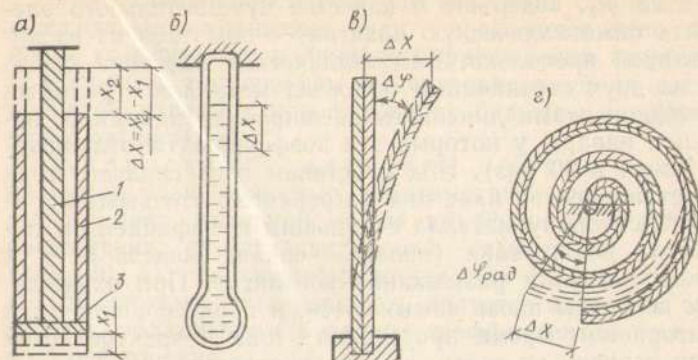


28. Пьезоэлектрический вибродатчик
1 — токоприемник; 2 — пружина; 3 — корпус; 4 — инерционный элемент; 5 — основание корпуса; 6 — пьезоэлектрические шайбы; 7 — электрод

чительно большей тензочувствительностью, чем константановые проволочные и фольговые. Коэффициент тензочувствительности полупроводниковых тензорезисторов достигает 100 и даже 200, тогда как у константановых равен 2. Но температурные характеристики полупроводников тензорезисторов значительно хуже константановых.

Кроме наклеиваемых тензорезисторов в системах автоматического управления применяют ненаклеиваемые проволочные тензорезисторы. Они обладают рядом ценных качеств, основное из которых — высокая стабильность нулевой точки. Но ненаклеиваемые тензорезисторы имеют сложную конструкцию (рис. 25), что затрудняет их изготовление и повышает стоимость. Однако в ряде случаев это оправдано. Так в конструкции датчика ДСТБС-016 (рис. 26), предназначенного для измерения сжимающих усилий, применены ненаклеиваемые тензорезисторы. Датчик используется в системах автоматического взвешивания материалов, хранящихся в бункерах и закрытых емкостях (см. гл. XI).

Принцип действия *пьезометрических датчиков* основан на преобразовании механической энергии в электрическую в соответствии с пьезоэлектрическим эффектом — возникновением электрических зарядов на по-



29. Датчики расширения
а — dilatометрический; б — жидкостный стеклянный; в — биметаллический; г — спиральный; 1 — внутренний стержень; 2 — наружный стержень; 3 — днонышко

верхностям некоторых кристаллов, например, титаната бария при механическом воздействии на них (рис. 27).

С точки зрения динамики эти датчики являются безынерционными элементами, поэтому их наиболее эффективно использовать в быстро протекающих динамических процессах. Для измерения упругих колебаний частей машин применяют вибродатчики (рис. 28). Здесь пьезоэлектрические шайбы 6 находятся между подпружиненной массой 4 и основанием корпуса 5 с резьбовым отверстием для крепления на вибрирующую поверхность. Благодаря инерции масса 4 оказывает на пьезокристаллы периодическое силовое воздействие с частотой колебаний контролируемого тела. Диапазон измерения колебаний от 15 до 30 000 Гц. Вибродатчики такого типа широко применяются для оценки технического состояния агрегатов СДМ, например топливоподающей аппаратуры дизельного ДВС. В этом случае вибродатчики крепятся на форсунки.

Датчики давления в системе смазки ДВС работают следующим образом. В *контактных* датчиках давления (см. рис. 23, и) при снижении давления ниже допустимого уровня мембрана перемещается и соединенный с ней подвижной контакт замыкает электрическую цепь, в которой установлена сигнальная лампа.

Датчики давления *электротеплового* типа, устанавливаемые в масляном канале блока цилиндров (см.

рис. 23, *к*), содержат в качестве чувствительного элемента биметаллическую пластину с обмоткой из изолированной проволоки. Биметаллическая пластина состоит из двух скрепленных полос из металлов с разными коэффициентами линейного расширения (например, латуни и инвара, у которых эти коэффициенты отличаются почти в 20 раз). Под действием протекающего тока биметаллическая пластина нагревается, что вызывает ее изгиб в сторону металла с меньшим коэффициентом линейного расширения (инвара — сплава железа 64% и никеля 36%) и размыкание контактов. При охлаждении контакты вновь замыкаются, и процесс циклически повторяется. Время протекания тока в электрической цепи зависит от силы сжатия контактов. При малом давлении масла контакты сжаты слабо, и они замыкаются редко.

С увеличением давления мембрана выгибается влево, соответственно увеличивается прогиб биметаллической пластины и время протекания электрического тока по цепи, которая соединяет датчик давления с указательным прибором на щитке в кабине машиниста.

§ 10. ДАТЧИКИ ТЕМПЕРАТУРЫ

Для контроля и регулирования температуры различных процессов используют методы, основанные на явлениях теплового расширения тел (с различными коэффициентами расширения), изменения давления газа внутри замкнутого объема или электрического сопротивления проводников и полупроводников при изменении температуры, на термоэлектрических явлениях.

Датчики расширения преобразуют изменение температуры в перемещение конца стержня или уровня жидкости. Их принцип действия заключается в следующем.

Дилатометрический элемент — простейший элемент расширения (рис. 29, *а*) состоит из двух стержней — внутреннего 1 и наружного 2. Оба стержня жестко укреплены на донышке 3. Коэффициент линейного расширения наружного стержня, имеющего форму трубки, в 10—20 раз больше коэффициента расширения внутреннего стержня, изготовленного из инвара или керамики. Активный стержень, имеющий больший коэффициент линейного расширения, делают из цветных металлов (меди, латуни) или стали.

При одинаковой степени нагрева обеих стержней их относительное удлинение будет пропорционально разности коэффициентов линейного расширения стержней, приращению температуры и первоначальной их длине, принятой равной длине стержня с большим коэффициентом расширения.

Жидкостные элементы расширения являются разновидностью дилатометрических. Пассивный элемент, имеющий малый коэффициент линейного расширения, представляет собой стеклянную трубку (рис. 29, *б*), заполненную жидкостью (например, этиловым спиртом). Эта жидкость является активным элементом, обладающим большим коэффициентом линейного расширения.

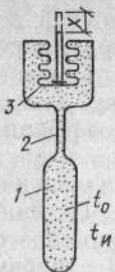
Биметаллический чувствительный элемент представляет собой две металлические пластины с различными коэффициентами линейного расширения, сваренные между собой (рис. 29, *в*). При изменении температуры свободный конец биметаллической пластины перемещается в сторону металла с меньшим коэффициентом линейного расширения, а изменение угла изгиба пропорционально изменению температуры.

Датчик температуры электротеплового типа с биметаллической пластиной аналогичен электротепловому датчику давления (см. рис. 23, *к*) и представляет собой герметический патрон с наружной резьбой для ввинчивания в головку блока цилиндров ДВС. С увеличением температуры охлаждающей жидкости деформация пластины увеличивается, что приводит к уменьшению средней силы тока в цепи. Это изменение и воспринимается указателем температуры в кабине машиниста СДМ.

В ряде случаев чувствительность датчиков с биметаллической пластиной можно повысить за счет длины элемента, в частности, путем применения спиральных элементов (рис. 29, *г*).

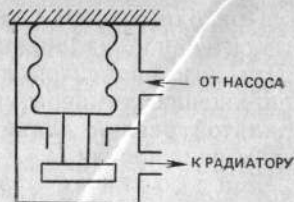
Манометрические чувствительные элементы (рис. 30) представляют собой герметичную систему, состоящую из термобаллона 1 и упругого элемента 3, соединенных между собой капиллярной трубкой 2. Система заполнена газом или жидкостью. В качестве упругих элементов могут быть использованы как сильфоны, так и мембраны, пружины и др.

Измеряемая температура t_n воспринимается термобаллоном 1. Нагревание его приводит к повышению



30. Манометрический чувствительный элемент

1 — термобаллон; 2 — капиллярная трубка; 3 — упругий элемент; t_n — измеряемая температура; t_0 — температура среды термобаллона



31. Термостат для регулирования температуры охлаждающей жидкости двигателя

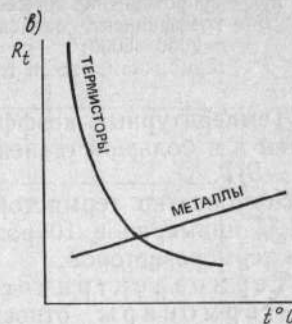
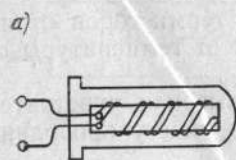
давления газа или жидкости, находящихся в практически постоянном объеме. В упругом элементе изменение давления преобразуется в перемещение.

С целью уменьшения влияния атмосферного давления термоэлементы часто заполняют азотом или другим газом под давлением. Относительное изменение давления в них пропорционально изменению температуры.

Некоторые датчики расширения широко используются на всех СДМ с двигателями внутреннего сгорания. Так, датчиком температуры в системе охлаждения двигателя служит термостат (рис. 31). Он представляет собой гофрированный баллон (сильфон), внутри которого находится легкоиспаряющаяся жидкость или твердый наполнитель с большим коэффициентом линейного расширения (например, церезин). При повышении температуры баллон удлиняется, а при понижении — сокращается. При этом закрепленный на баллоне клапан включает и отключает радиатор, поддерживая таким образом необходимую температуру.

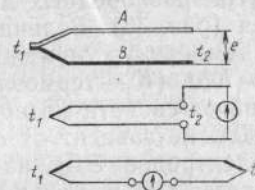
Чувствительные элементы термометров сопротивления (рис. 32) представляют собой тонкую металлическую проволоку, намотанную на каркас (терморезистор), или полупроводниковый термисторный элемент, защищенные кожухом. Электрические элементы сопротивления и термисторы предназначены для определения температуры путем измерения величины сопротивления металла или полупроводника, которое изменяется при их нагреве.

Для проводниковых терморезисторов используют чистые металлы: медь, никель, платину. Их статическая ха-



32. Чувствительные элементы термометров сопротивления

а — проводниковый; б — полупроводниковый; в — статические характеристики



33. Схемы включения термопар

актеристика в диапазоне 0—100 °С практически линейна (рис. 32, в):

$$R = R_0 (1 + \alpha t),$$

где R_0 — сопротивление при 0 °С, Ом;

t — температура, °С;

α — температурный коэффициент электрического сопротивления, $\alpha = (4-6) \cdot 10^{-3} \text{ 1/}^\circ\text{C}$.

Для никелевых терморезисторов характерно высокое удельное электрическое сопротивление и большие значения α , что позволяет выполнять датчики малых размеров.

Полупроводниковые элементы (термисторы) изготовляют из смеси окислов никеля, марганца, кобальта, магния, титана, спрессованных и спеченных при высокой температуре в виде стержней, шайб, дисков и бусинок. Они имеют экспоненциальную характеристику (рис. 32, в):

$$R = R_{20} \exp [B (293 - T)/293T],$$