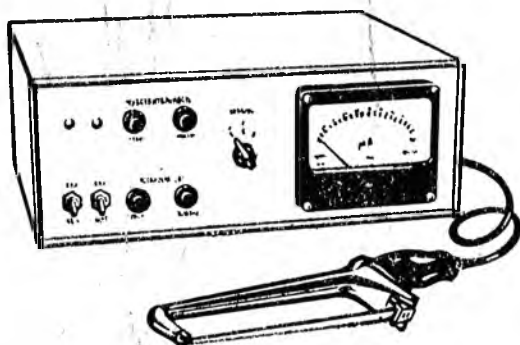


ПРОФЕССИОНАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ
ОБРАЗОВАНИЕ



Б. И. ЖАРКОВСКИЙ

ПРИБОРЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ

Б. И. ЖАРКОВСКИЙ

ПРИБОРЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ (УСТРОЙСТВО И РЕМОНТ)

**Издание второе,
переработанное и дополненное**

**Одобрено Ученым советом
Государственного комитета СССР
по профессионально-техническому
образованию
в качестве учебника
для средних профессионально-
технических училищ**

36610



МОСКВА «ВЫСШАЯ ШКОЛА» 1983

ББК 34.9
Ж35
УДК 681.2

Рецензент — канд. техн. наук Д. М. Агранов
(ГПИ «Проектмонтажавтоматика»)

Жарковский Б. И.

Ж35 Приборы автоматического контроля и регулирования (устройство и ремонт): Учебник для сред. проф.-техн. училищ. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. школа, 1983. — 312 с., ил. — (Профтехобразование).

В пер.: 70 к.

В книге рассмотрены принципы действия современных отечественных приборов и их ремонт, дана классификация приборов, приведены сведения о физических явлениях, происходящих в приборах, даны основные понятия об автоматическом регулировании и законах регулирования, изложены сведения о метрологии и надежности приборов, а также вопросы безопасности труда.

Второе издание (1-е — в 1978 г.) дополнено сведениями о ремонте приборов и элементов автоматики, а также о новых типах отечественных приборов.

Ж $\frac{2706000000-499}{052(01)-83}$ 51—83

ББК 34.9
6П5.8

© Издательство «Высшая школа», 1978
© Издательство «Высшая школа», 1983, с изменениями

Машиностроению принадлежит ведущая роль в техническом вооружении народного хозяйства, так как на базе его развиваются все отрасли промышленности, сельского хозяйства, повышается производительность труда. Уровень производства машин и их техническое совершенство являются основными показателями развития промышленности.

Создание комплексных автоматических систем и быстродействующих вычислительных машин является важным этапом научно-технического прогресса. Использование средств автоматики и вычислительной техники позволяет автоматизировать трудоемкие процессы, экономить энергоресурсы, снижать себестоимость продукции и повышать ее качество.

В Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981 — 1985 годы и на период до 1990 года, принятых XXVI съездом КПСС, предусмотрено в приборостроении повысить технический уровень вычислительной техники, приборов и средств автоматизации на основе новейших достижений микроэлектроники, оптоэлектроники и лазерной техники.

Важнейшей задачей, стоящей перед народным хозяйством нашей страны, является постоянное улучшение качества продукции при одновременном увеличении эффективности производства. Успешное выполнение этой задачи невозможно без совершенствования средств измерений, применяемых в научных исследованиях и процессах промышленного производства.

В приборостроении постоянно повышается надежность и качество приборов благодаря переходу на печатный монтаж, использованию новых элементов, замене дискретных приборов интегральными схемами и микромодулями.

Новый этап в повышении качества, надежности и уменьшения габаритов автоматических устройств и комплексов связан с разработкой микропроцессоров — микроавтоматических устройств, которые позволяют создавать и внедрять в промышленность миниатюрные электронные управляющие машины и промышленные роботы.

Повышение качества выпускаемой промышленной продукции неразрывно связано с совершенствованием технологических процессов и их автоматизацией.

Большое значение для унификации средств измерительной техники, приборов и средств автоматизации имели мероприятия Госу-

дарственного комитета СССР по стандартам, которые позволили разработать и освоить серийный выпуск приборов Государственной системы приборов — ГСП.

Приборы, выпускаемые отечественной промышленностью, применяют в науке, технике и народном хозяйстве. Постоянно совершенствуются технические характеристики приборов и расширяется их номенклатура.

Значительный вклад в развитие отечественного приборостроения внесли наши соотечественники. Русский ученый И. А. Вышнеградский — основоположник теории автоматического регулирования. Дальнейшее развитие этой теории связано с именами Н. Е. Жуковского, П. Л. Чебышева, И. Н. Вознесенского и других русских и советских ученых.

В 1878 г. академик П. Л. Чебышев сконструировал суммирующую машину, а спустя четыре года он же создал специальное вычислительное приспособление, позволяющее автоматизировать операции умножения и деления. М. А. Бонч-Бруевич в 1918 г. разработал основу электронных счетчиков — триггер. С. А. Лебедев, Б. М. Рамеев и Н. И. Бессонов внесли вклад в создание сложных электронных машин.

На новом этапе развития машиностроения и приборостроения высокое профессиональное мастерство является важнейшим условием практической реализации научных достижений в науке и технике, решающим фактором в создании и эффективном использовании сложнейших средств автоматизации.

В настоящее время в СССР наряду с Международной системой единиц СИ в технике измерений еще широко используются внесистемные единицы, так как в эксплуатации находится большое количество средств измерений, градуированных в несистемных единицах. Поэтому в книге приведены как внесистемная размерность, так и размерность системы СИ.

Большая роль в обеспечении надежной бесперебойной эксплуатации средств автоматизации отводится специалистам по контрольно-измерительным приборам и автоматике — слесарям КИПиА.

Цель настоящей книги — дать учащимся знания основ по контрольно-измерительным приборам и автоматике в объеме, необходимом для сознательного, прочного и глубокого овладения профессией слесаря по контрольно-измерительным приборам и автоматике и для обеспечения дальнейшего повышения их производственной квалификации.

ВЕСОВЫЕ УСТРОЙСТВА И ДОЗАТОРЫ

§ 1. Классификация, назначение весов и дозаторов

В целом ряде производственных процессов важнейшие показатели работы предприятий определяются по результатам взвешивания сырья, полуфабрикатов и готовых изделий.

Весы являются составной частью производственного процесса: их встраивают в технологические линии, они имеют различные приспособления и наряду с определением массы выполняют и другие функции, например сортировку и контроль операций, дозирование компонентов для составления смесей, фасовку, упаковку и т. д.

Весы — прибор для измерения массы путем использования эффекта гравитационных сил. По принципу действия весы подразделяют на рычажные, пружинные, гидравлические, гидростатические и электротензометрические. По степени автоматизации весы подразделяют на следующие типы: весы с автоматическим уравновешиванием; весы с дистанционной передачей и регистрацией показаний; автоматические порционные весы; автоматические порционные дозаторы; автоматические весы непрерывного действия; автоматические сортировочные весы.

Ряд весов представляет собой сложные механизмы, которые служат для подачи и взвешивания грузов, регистрации результата, сигнализации отклонения от заданных технологических норм.

В связи с большим разнообразием технологических процессов используют различные типы весоизмерительных приборов. Широкое распространение получили новые методы взвешивания и новые типы приборов, например весы с циферблатным указателем. Их применение в несколько раз ускоряет процесс взвешивания, так как отпадает необходимость использования гирь и подсчетов результатов взвешивания. Груз на таких весах уравновешивается автоматически, результат взвешивания определяется по шкале. Кроме того, циферблатные весы при встраивании их в технологические линии позволяют использовать циферблатный указатель в качестве датчика при автоматизации процесса, допускают присоединение различных печатающих и счетных аппаратов для регистрации показаний весов.

Дозаторы применяют в химической, пищевой промышленности, производстве пластмасс, красителей, бетона и т. д. При автоматизации производственных процессов к дозирующим устройствам предъявляют повышенные требования. В ряде процессов необходимо дозирование по сложной рецептуре, включающей в себя несколько десятков компонентов. Применение электротензометрии, перфорированных карт для записи рецептуры и других устройств позволяет полностью автоматизировать эти процессы. Использование в дозаторах печатающих и самопишущих приборов, регистрирующих результаты, дает возможность полностью контролировать процессы производства.

По назначению весоизмерительные приборы разделяют на следующие пять основных групп: 1) общего назначения, 2) технологические, 3) лабораторные, 4) специальных измерений, 5) метрологические.

Первая группа приборов широко применяется во всех отраслях промышленности, транспорте: настольные весы с пределом взвешивания 50 кг, платформенные передвижные — от 50 кг до 6 т, стационарные платформенные (автомобильные, вагонные) — от 5 до 200 т. Весы этой группы имеют коромысловый указательный прибор с применением гирь, с коромыслами шкального типа и с циферблатными указательными приборами. Для автоматизации процессов взвешивания применяют печатающие регистрирующие устройства, обеспечивающие дистанционную передачу показаний весов. Некоторые типы весов выпускают со счетно-решающим устройством.

Вторая группа объединяет технологические весы для различных отраслей промышленности в однотипных технологических процессах (например, автоматические весы для взвешивания сыпучих материалов), специальные весы для определенных грузов, промышленные дозирующие устройства периодического и непрерывного действия, дозаторы для развески и упаковки материалов.

К третьей группе относятся лабораторные весы различных типов. Выделение их в отдельную группу объясняется особыми условиями и методами взвешивания, а кроме того, требуемой высокой точностью.

Четвертая группа включает приборы, служащие не для определения массы, а измерения других параметров, например подсчета деталей или изделий и т. п.

Пятая группа включает метрологические весы для проведения поверочных работ. К конструкции этих весов предъявляются высокие требования, присущие поверочным приборам.

В систему обозначения весоизмерительных приборов внесены определенные изменения: для весов общего назначения принято буквенно-цифровое обозначение: первая буква указывает конструкцию пружинного устройства, вторая — способ установки весов. Далее цифра после букв обозначает максимальную массу взвешиваемого объекта. Буква после обозначения массы взвешиваемого объекта обозначает вид указательного устройства.

Последующие цифры обозначают вид отсчета и снятия показаний весов.

Основные обозначения весоизмерительных приборов. Конструкция грузоподъемного устройства весов: Р — рычажно-механические, Т — электронно-тензометрические.

Способ установки: Н — настольные, П — передвижные, С — стационарные.

Вид указательного устройства весов: Г — коромысловое гиревое, Ш — коромысловое шкальное, Ц — циферблатное.

Вид отсчета и снятие показаний весов: 1 — визуальный отсчет, 2 — документальная регистрация, 3 — отсчет на месте установки весов, 4 — отсчет дистанционный.

Например, весы РП-500Г13 расшифровывают: рычажно-механические, передвижные, максимальная масса взвешиваемого объекта 500 кг, гиревые с визуальным отсчетом на месте установки весов;

весы РС-150Ц24В — рычажно-механические, стационарные, максимальная масса взвешиваемого объекта 150 т, циферблатные с документальной регистрацией и дистанционной передачей показаний, вагонные.

Для дозаторов дискретного действия введены обозначения с указанием номера проекта и предельной порции: ВАП — весы автоматические порционные; ВАД — весы автоматические дозирочные, ВАР — весы автоматические расфасовочные. Например, весы ВАП-100-201 — автоматические, порционные, наибольшая масса порции 100 кг, номер проекта 201.

§ 2. Классификация гирь

Масса тела есть физическая величина, являющаяся мерой его инерционных и гравитационных свойств. Масса тела и вес в поле Земли удовлетворяют следующему уравнению: $P=mg$, где P — вес тела; m — масса тела; g — ускорение свободного падения.

В зависимости от назначения гири подразделяют на две основные группы: общего и специального назначений.

Гири общего назначения имеют пять классов, отличающихся точностью воспроизведения значения массы, и имеют следующее применение: гири 1-го класса — для химических анализов высшей точности; гири 2-го класса — для химических анализов обычной точности; гири 3-го класса — для технических анализов повышенной точности, взвешивания драгоценных металлов; гири 4-го класса — для технических анализов обычной точности, взвешивания медикаментов; гири 5-го класса — для торгового и хозяйственного взвешивания.

Гири 3, 4, 5-го классов изготавливают с внутренней подгоночной полостью. Отверстие полости плотно закрывается резьбовой или цилиндрической пробкой, положение которой фиксируется специальным штифтом из алюминиевой проволоки.

Государственное клеймо устанавливают на штифт у гирь 3-го класса и непосредственно на пробку у гирь 4-го и 5-го классов.

В наборах гири буквы обозначают единицу измерений: кг — килограмм, г — грамм, мг — миллиграмм; первое число после букв — класс гири, второе — масса гири.

Гири специального назначения подразделяют на образцовые, условные, для автоматических весов и гири, встраиваемые в весы.

Образцовые гири служат для поверок гири и весов, они имеют четыре разряда, которые определяют область их применения. Образцовые гири поверяют по эталонам и образцовым мерам массы на образцовых весах, при этом допускаемое отклонение массы образцовых гири не должно превышать действующих установленных норм.

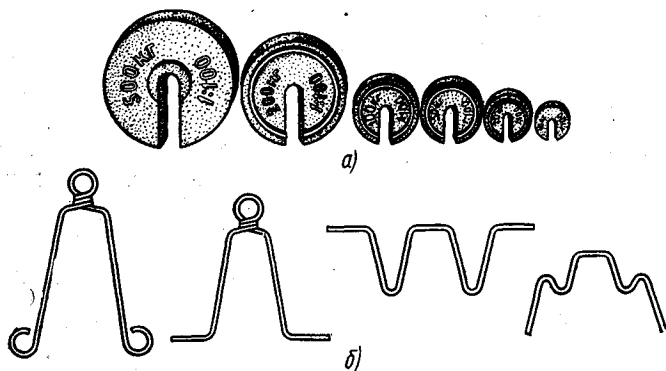


Рис. 1. Гири:

а — условные гири, б — гири-рейтеры

Условные гири (рис. 1,а) используют для платформенных передвижных рычажных гиревых весов общего назначения с отношением плеч рычажной системы 1 : 100. Гири выпускают с условной массой от 500 г до 10 кг и изготавливают из серого чугуна. Поверхность гири должна быть ровной, без швов и перекосов. Внутри гири должна быть подгоночная плоскость определенного размера, чтобы при ремонте можно было добавлять тарировочный материал в количестве 0,8 — 1,2 % от номинальной массы гири. В качестве тарировочного материала применяют стружку черных металлов и чугунную дробь. В подгоночную полость запрессовывают гладкую цилиндрическую пробку из алюминиевого сплава, на которую наносят государственное клеймо поверки гири. На верхней части гири указывается условная ее масса и отношение номинальной массы к условной в цифровом выражении; на нижней части отливается товарный знак предприятия. Условные гири обозначают следующим образом: вначале стоит слово «гиря», затем знак ГУ, обозначающий, что гиря имеет условную массу. Например, гиря ГУ-500 означает, что гиря условная с условной массой 500 кг.

Гири-рейтеры (рис. 1,б) применяют для лабораторных весов; их изготавливают с классами точности 1; 1а; 2 и 3 и должны использовать с весами тех же классов точности. Гири-рейтеры выпускают отдельными наборами массой 10 мг — 2 шт.; 5 мг — 2 шт.;

1 мг — 1 шт. Набор обозначается буквой Р и цифрой, указывающей класс точности, например Р-1. Гири-рейтеры изготавливают из нержавеющей стали.

§ 3. Устройство платформенных весов

Платформенные весы обычно состоят из грузоподъемной части с рычажной системой и самого указательного прибора, который может иметь: коромысловый тип с уравниванием нагрузки наложением гирь; шкальное коромысло, где вся нагрузка уравнивается передвижными шкальными гирями; циферблатный с круглой шкалой.

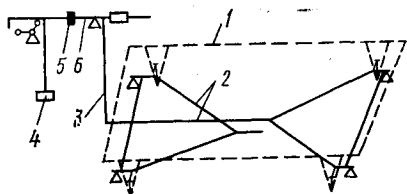


Рис. 2. Устройство платформенных весов

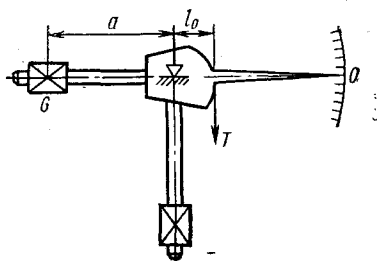


Рис. 3. Циферблатный указатель

Весы рычажные платформенные предназначены для взвешивания различных грузов. Наиболее распространенным типом передвижных весов являются весы типа РП (рис. 2), у которых внутри рамы 1 расположены два грузоподъемных рычага 2 (большой и малый), соединенных между собой серьгой. На грузоприемные призмы рычагов опирается платформа весов. При взвешивании действующая на платформу нагрузка воспринимается рычагами и через тягу 3 передается на коромысло 6. Груз уравнивается в основном съемными гирями, которые накладывают на гиредержатель 4. Окончательное равновесие достигается установкой передвижной гири 5 на шкалу коромысла.

По методу восприятия нагрузки платформенные весы делятся на рычажно-механические Р и тензометрические Т. По способу установки существуют следующие модели платформенных весов: настольные — Н, передвижные — П, стационарные — С; по виду указательного устройства: циферблатные — Ц и шкальные — Ш.

По способу отсчета и снятия показаний весы имеют: визуальный отсчет, документальную регистрацию, местное снятие показаний, дистанционное снятие показаний. Например: рычажные стационарные, платформенные, циферблатные весы с циферблатным указателем с визуальным отсчетом и местным снятием показаний, с наибольшим пределом взвешивания 2000 кг условно обозначаются — РС-2Ц13.

Основные элементы современных платформенных циферблатных весов — циферблатный указатель, промежуточный механизм, грузоприемное устройство.

Циферблатный указатель — это автоматическое уравновешивающее устройство весов с переменным положением равновесия. В отличие от весов с коромысловым указателем, в которых определение массы взвешиваемого груза производится путем сравнения его с массой гирь в определенном положении, на циферблатных весах масса груза уравнивается автоматически и прочитывается непосредственно по отсчетной шкале.

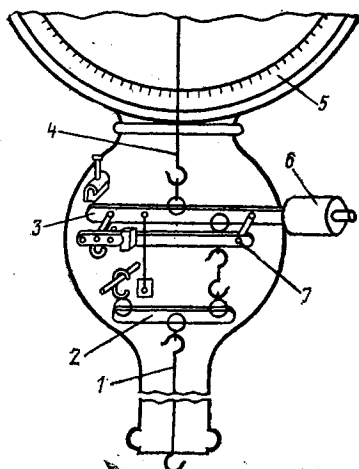


Рис. 4. Устройство промежуточного механизма

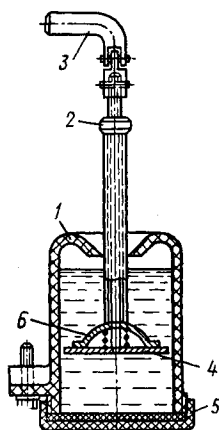


Рис. 5. Успокоитель колебания

Для достижения пропорциональности между углом поворота указательной стрелки и прилагаемой нагрузкой сектор грузоприемной части рычага имеет переменный радиус.

Условие равновесия указателя в нулевом положении имеет вид (рис. 3): $Tl_0 = Ga$, где T — масса груза, G — масса противовеса, l_0 — плечо грузоприемного сектора (нулевое), a — плечо рычага, на конце которого расположен тарный груз.

Циферблатные весы имеют шкалу, на которой наносят делительную окружность и деления, завод-изготовитель, заводской номер, год выпуска, цену наименьшего деления шкалы, наименьшую и наибольшую массу взвешиваемого объекта.

Ось стрелки устанавливают в подшипниках, к которым по условиям работы предъявляют требования минимального трения.

Циферблатные указатели являются точными приборами, и их загрязнение отражается на точности показаний. Поэтому корпус указателей выполняется пылевлагонепроницаемым.

Промежуточный механизм (рис. 4) является звеном, которое связывает грузоприемное устройство с циферблатным указателем. Промежуточный механизм передает воспринимаемое

усилие от грузоприемного устройства к циферблатному указателю с доведением этого усилия до заданного за счет весовой рычажной системы.

Усилие от грузоприемного устройства весов, действуя на тягу 1, передается через передаточный весовой рычаг 2 на основной рычаг 3, который в свою очередь через серьгу и тягу 4 передает усилие на механизм циферблатного указателя. На основном весовом рычаге расположен тарный груз 6, с помощью которого указательная стрелка устанавливается в начало шкалы. Кроме того, на весовом рычаге расположена шкала 7 с передвижной гирей, которая служит для уравнивания тары. При больших пределах взвешивания ряд весов снабжают устройством — успокоителем колебаний (рис. 5). Устройство имеет цилиндр 1 и крышку 5. В цилиндре ходит поршень 4, шток которого через шарнирную тягу 3 соединяется с весовым рычагом. В поршне имеются отверстия, а полость между поршнем и колпачком заполнена маслом. Над поршнем установлены колпачок 6 и трубка, которые отжимаются пружиной, находящейся между поршнем и колпачком. Если гайкой 2 установить небольшой зазор между поршнем и колпачком, то масло будет устремляться через этот зазор из одной полости цилиндра в другую, оказывая сопротивление колебательному движению поршня и всей рычажной системе.

При правильной регулировке гайки 2 колебания системы будут затухающими и указательная стрелка, совершив несколько колебаний (2—4), остановится в положении равновесия, соответствующем массе взвешиваемого груза.

Грузоприемное устройство предназначено для восприятия нагрузки от массы груза и передачи ее через промежуточный механизм к циферблатному указателю; оно представляет собой сочетание соединенных между собой весовых рычагов, которые подразделяются на непосредственно воспринимающие нагрузку и передающие нагрузку от грузоприемных весовых рычагов к циферблатному указателю. К весовым рычагам предъявляют высокое требование точности их линейных размеров, так как это оказывает большое влияние на точность показаний весов.

§ 4. Устройство автомобильных и элеваторных весов

Автомобильные передвижные весы общего назначения применяют для взвешивания автомашин с грузом. Весы с пределом взвешивания 30 и 60 т монтируют в виде агрегата, составленного из двух весовых секций. Весы с пределом взвешивания 100 т изготавливают в виде установки с общей длиной платформ до 22 м.

Результаты взвешивания на весах, состоящих из весовых секций, определяют путем суммирования показаний всех составляющих секций.

Автомобильные весы с цифропоказывающим устройством РС-30Ц24А (рис. 6) имеют циферблатный указательный прибор с накладными гирями и дистанционной регистрацией ре-

зультатов взвешивания. Весы имеют цифровое табло, которое фиксирует результат взвешивания. Весь цикл взвешивания и регистрация показаний выполняются автоматически.

Кроме указанного типа весов промышленностью выпускаются автомобильные циферблатные весы типа РС, автомобильные весы с проекционным отсчетом показаний РС-П и автомобильные передвижные весы типа РП.

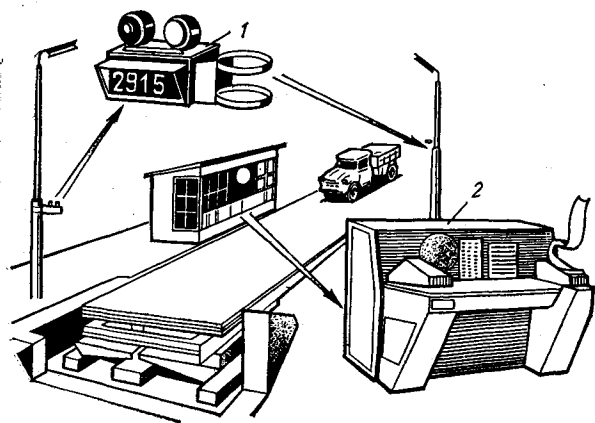


Рис. 6. Автомобильные весы с цифропоказывающим и регистрирующим устройством:

1 — цифровое табло, 2 — диспетчерский пульт

Циферблатные автомобильные платформенные весы типа РС изготавливают с наибольшими пределами взвешивания 10, 30 и 60 т. Весы предназначены для взвешивания различных грузов, перевозимых автомашинами, безрельсовым транспортом, а также для взвешивания крупногабаритных или тяжелых грузов. Они нашли широкое применение на промышленных предприятиях, транспорте и т. д.

Основными элементами весов, подобно платформенным весам, являются: циферблатный указатель, промежуточный механизм и грузоприемное устройство.

Устройство для отсчета величины массы гирь имеет различные конструкции. Обычно при наложении встроенных гирь перемещается подшкальник, который выполнен в виде круглой шкалы. На подшкальнике нанесена по ходу его движения основная оцифровка в порядке ее увеличения, на отсчетной шкале нанесены деления и промежуточная оцифровка. Например, в весах с наибольшим пределом взвешивания 1 т в окнах отсчетной шкалы будут видны цифры 0, 100, 200, 300, 400, 500 кг (без наложения одной встроенной гири). При наложении встроенной гири подшкальник перемещается и в окнах отсчетной шкалы появятся цифры 500, вместо 0, 600 вместо 100, 700 вместо 200 и т. д.

В весах РС-10Ц13 при наложении гирь в окне отсчетной шкалы перемещается флажок с соответствующими цифрами. Если гири в работе не участвуют, то в окне отсчетной шкалы устанавливаются нулевые показания.

При установке гири в окне отсчетной шкалы появляется цифровое обозначение, соответствующее массе установленных встроенных гирь. В этом случае результат взвешивания определяется суммой показаний массы, указанной стрелкой на шкале отсчета, и массы встроенных гирь. Встроенные гири для правильной установки и фиксации положения имеют цилиндрическую форму с внутренними конусами, в корпусе которых имеются полости, необходимые для подгонки массы при юстировке весов. Эти полости закрывают пробками.

Масса встроенных гирь является чисто условной, она подбирается в соответствии с передаточным отношением от грузоприемного устройства до тяги основного весового рычага. Например, в циферблатных весах РП-1Ц13 передаточное отношение равно 1:100. Действительная масса встроенной гири, уравнивающей 500 кг, составляет $500:100=5$ кг.

Циферблатный указатель на время, когда весы не работают, отключается с помощью специального устройства — арретира. Арретир отключает циферблатный указатель поднятием промежуточного механизма весов. В некоторых конструкциях весов применяется также блокирующее устройство. Оно выполняется таким образом, что ручку арретира весов можно повернуть только тогда, когда установлены встроенные гири. Назначение такой блокировки заключается в предотвращении поломки ненагруженных весов.

В настоящее время применяют механизмы с управлением от одной рукоятки, которые выполняют одновременно блокировку и исключают случайные перегрузки весов.

Элеваторные весы относятся к рычажным весам шкального типа и отличаются от них наличием бункера для взвешивания и особым расположением подплатформенных весовых рычагов, которые осуществляют разгрузку бункера вниз через весы. Металлический бункер закрепляется на внутренней раме, заменяющей платформу весов. Весы загружают сверху через специальные надвесовые задвижки.

При взвешивании нагрузка уравнивается передвижными шкальными гирями. Затвор открывают и закрывают рычажным механизмом с помощью маховика или рукоятки.

Основными типами элеваторных весов являются весы 121К5, 120К10, 341В20, которые имеют соответственно пределы взвешивания 5, 10 и 20 т.

§ 5. Автоматические весы и дозаторы

На автоматических весах взвешивание и все связанные с ним операции выполняются без участия человека. Автоматические весы подразделяют на весы дискретного и непрерывного действия.

Весами дискретного действия называются весы, на которых взвешивание производится в течение определенного повторяющегося цикла взвешивания.

Весами непрерывного действия называются весы, на которых взвешивание осуществляется непрерывно.

По принципу действия автоматические весы подразделяют на равноплечие и неравноплечие; стационарные и передвижные; по управлению — электрические, пневматические или электропневматические.

Автоматические дозаторы — весы, которые за определенное время равномерным потоком выдают заданное количество дозируемого материала или сырья. Весовое дозирование в отличие от объемного повышает качество процессов и точность измерений. Дозаторы непрерывного действия изготовляют следующих классов; 0,5; 1; 1,5; 2,5; 4.

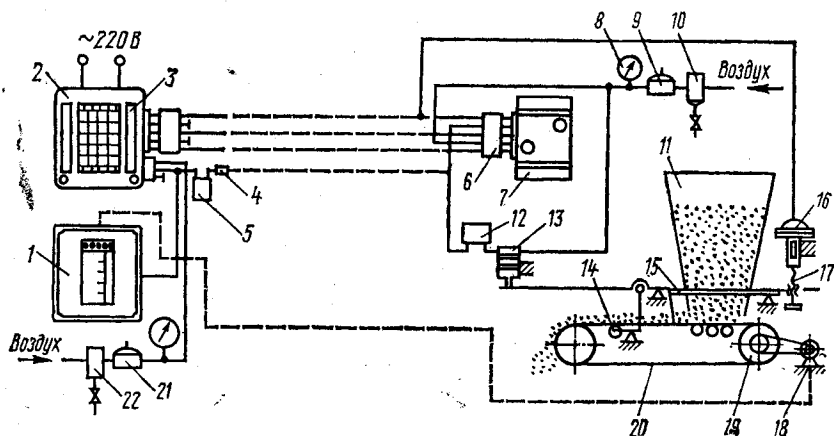


Рис. 7. Автоматический дозатор типа ЛДВ:

1 — регистрирующий прибор, 2 — пневматический прибор с задатчиком, 3 — пневматическая колодка, 4 — капилляр, 5, 12 — емкости (буферные), 6 — разъем, 7 — регулятор, 8 — манометр, 9, 21 — воздушные редукторы, 10, 22 — воздушные фильтры, 11 — бункер, 13 — датчик веса, 14 — весовой ролик, 15 — заслонка, 16 — мембранный механизм, 17 — винт заслонки, 18 — электродвигатель, 19 — ведущий барабан, 20 — транспортная лента

Автоматический дозатор типа ЛДВ (рис. 7) работает следующим образом: на транспортной ленте 20 через весовой ролик 14 и систему рычагов установлен датчик веса 13, который изменяет положение заслонки 15 при изменении массы материала на транспортной ленте.

Управление заслонкой пневматическое (воздушное). Датчик веса преобразует действующую на него силу в пневматический сигнал, строго пропорциональный массе материала. Пневматический сигнал поступает на пневматический регулятор 7. Регулятор формирует выходной пневматический сигнал, поступающий на мембранный механизм 16, который открывает или закрывает управляющую заслонку 15 бункера 11.

При увеличении массы материала на ленте заслонка прикрывает отверстие бункера; при уменьшении массы — открывает отверстие, тем самым поддерживая постоянную производительность дозатора. Дозатор может менять свою производительность при изменении задания на блоке регулирования.

Автоматический дозатор типа ЛДА (рис. 8) используется для непрерывного дозирования различных кусковых материалов с заданной производительностью. Дозатор состоит из электровибрационного питателя 12 с вибродвигателем 10 и транспортера 2, который приводится в движение электродвигателем 11 с редуктором.

Необходимая производительность дозатора устанавливается по вторичному прибору 6, который имеет встроенный задатчик. Подача материала на транспортер 2 осуществляется посредством электровибрационного питателя 12.

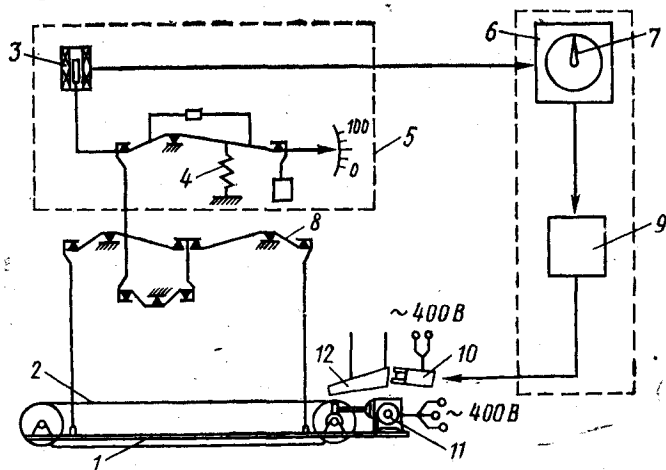


Рис. 8. Автоматический дозатор типа ЛДА:

1 — плечо, 2 — транспортер, 3 — индукционный датчик, 4 — пружина, 5 — задатчик, 6 — вторичный регулирующий прибор, 7 — стрелка, 8 — рычажная система, 9 — регулятор напряжения, 10 — вибродвигатель транспортной ленты, 11 — электродвигатель, 12 — электровибрационный питатель

Рычажная система 8 передает нагрузку транспортера (масса материала) через уравнивающую пружину 4 на индукционный датчик 3. Деформация пружины 4 вызывает перемещение плунжера датчика — изменяется индуктивность датчика и нарушается равновесие моста прибора 6. Стрелка 7 прибора отклоняется на величину, соответствующую изменению нагрузки на ленту транспортера, при этом включается регулятор напряжения 9, который изменяет напряжение, подаваемое на вибродвигатель 10. При изменении напряжения увеличивается или уменьшается амплитуда вибрации питателя 12, а следовательно, меняется производительность дозатора. Изменение производительности будет происходить до тех пор, пока не достигнет заданной величины.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные типы весов и дозаторов.
2. Какую классификацию имеют гири?
3. Для чего применяются условные гири и гири-рейтеры?
4. Объясните устройство платформенных весов.
5. Какое устройство имеют автомобильные циферблатные весы типа РС?
6. Чем отличаются автоматические дозаторы от автоматических весов?
7. Чем обеспечивается необходимая производительность автоматического дозатора типа ЛДА?

ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

§ 1. Классификация и основные свойства приборов

Основными элементами оптико-механических приборов являются оптические линзы и системы линз, которые образуют оптическую систему.

Оптические приборы подразделяют на определенные группы: телескопические приборы (бинокли, зрительные трубы, дальномеры); микроскопы; проекционные приборы; кино- и фотоаппараты; специальные приборы; оптико-электронные приборы.

Широкое применение получили приборы смешанного типа, использующие принципы действия разных групп оптических приборов, например стереопроекторы, спектрофотографы, микропроекторы и т. д.

Оптические свойства прибора являются основными и обусловлены действием оптической системы прибора. К общим свойствам всех оптических приборов относят: видимое увеличение; разрешающую силу; качество изображения; расстояние от окуляра до зрителя; поле зрения.

Оптические свойства фото- и кинопроекционной аппаратуры определяют данными объективов: фокусным расстоянием объектива; относительным отверстием; разрешающей силой; полем зрения (размером снимка, кадра); освещенностью экрана.

Линзой называется оптическая деталь из прозрачного материала (стекла), ограниченная двумя преломляющими поверхностями, имеющими общую ось оптической симметрии.

Основные типы линз: двояковыпуклая положительная 1, двояковыпуклая отрицательная 2, плоско-выпуклая положительная 3, плоско-вогнутая 4, положительный мениск 5, отрицательный мениск 6 (рис. 9,а).

У положительных линз оптическая сила больше нуля, у отрицательных — меньше нуля. Положительные собирательные линзы обычно имеют наибольшую толщину в центре (1, 2, 3), отрицательные, наоборот, меньшую толщину в центре (4, 5, 6; рис. 9,б).

Призмы (оптические многогранники) по своему назначению подразделяются на отражательные, спектральные и поляризационные. В отражательных призмах угол падения луча на входную грань равен углу преломления этого луча на выходной грани.

Призмы (рис. 10) применяют для изменения направления оптической оси систем, оборачивания изображения, разделения пучков лучей. Призмы могут быть как одинарными, так и составными — из нескольких простых призм.

Призмы с малыми преломляющими углами (до 6°) называют **оптическим клином** (рис. 11).

Бинокли, зрительные трубы и дальномеры нашли широкое применение для определения расстояний до удаленных объектов.

Фотоаппараты и киноаппараты применяют для съемок объектов и их частей во всех областях науки и техники.

Проекционные приборы применяют для получения на экране изображений с диапозитивов, кинокадров, негативов, рисунков и текстов. К проекционным приборам относят: эпидиаскопы, кинопроекторы, фотоувеличители, проекционные устройства микроскопов и т. д.

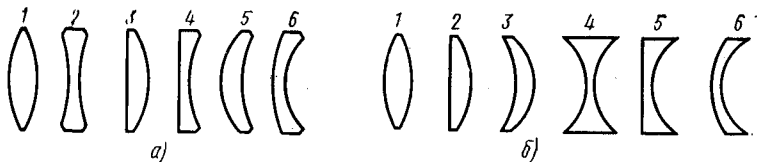


Рис. 9. Типы линз

Микроскопы используют как визуальный прибор для рассматривания деталей исследуемого объекта, так и для точных измерений. Некоторые области ядерной физики, электроники и фотоэлектроники потребовали превращения микроскопа из визуального в точный измерительный прибор. В связи с этим были внесены необходимые изменения в конструкцию оптической, механической и электрической частей микроскопа.

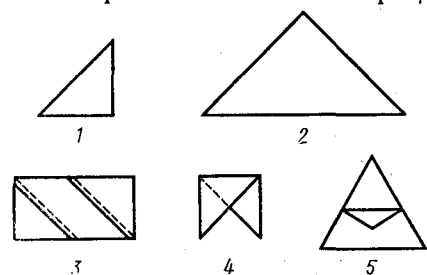


Рис. 10. Типы призм:

1 — поворотная, 2 — оборотная, 3, 4 — отражательные, 5 — спектральная



Рис. 11. Типы оптических клиньев

Световые величины и единицы. Световой поток характеризуется силой света, освещенностью и яркостью.

В Международной системе единиц СИ единицей силы света является кандела. Обозначение — кд, ранее применялось наименование «свеча» с обозначением — св. $1 \text{ св} = 1 \text{ кд}$.

Единицей светового потока является люмен. Обозначение — лм. Люмен — световой поток, испускаемый точечным источником в телесном угле 1 ср при силе света 1 кд. $1 \text{ лм} = 1 \text{ кд} \cdot 1 \text{ ср}$.

Единицей освещенности является люкс. Обозначение — лк. Люкс — освещенность поверхности площадью 1 м^2 при световом потоке падающего на нее излучения, равном 1 лм. $1 \text{ лк} = 1 \text{ лм} : 1 \text{ м}^2$.

Единицей яркости поверхности является кандела на квадратный метр. Обозначение — кд/м². Кандела на квадратный метр — яркость равномерно светящейся плоской поверхности площадью 1 м^2 в перпендикулярном к ней направлении при силе света 1 кд.

36620

§ 2. Бинокли, зрительные трубы, и дальномеры

Бинокль — оптический прибор, предназначенный для наблюдения за удаленными объектами, а также для измерения углов и расстояний.

Биноклярные приборы, как правило, обладают пластичностью, т. е. способностью повышать радиус стереоскопического действия человеческих глаз. Невооруженным глазом человек видит местность на расстоянии до 1300—1400 м, а с помощью различных типов биноклей можно наблюдать местность на расстоянии до нескольких километров.

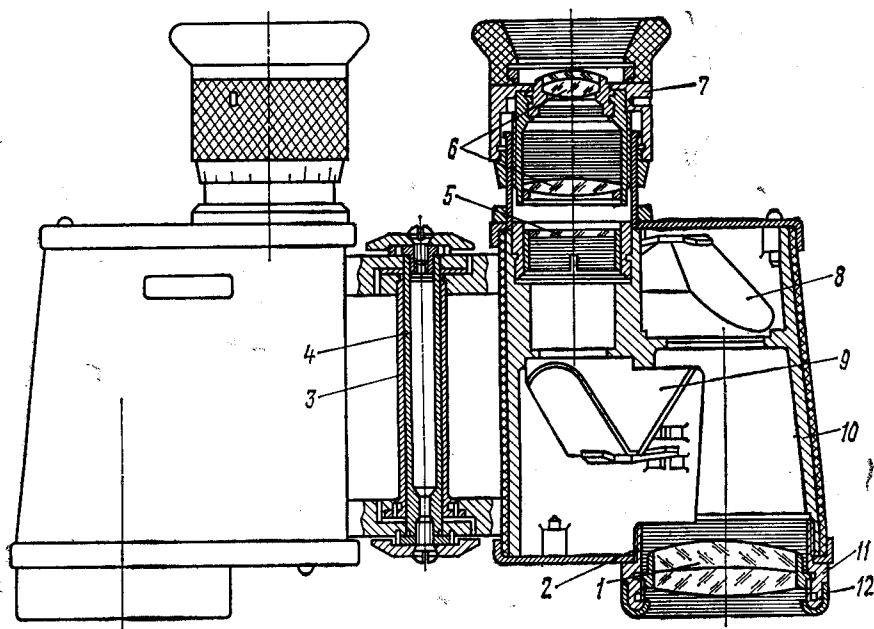


Рис. 12. Бинокль Б-6

Бинокль (рис. 12) имеет две трубки, в которых установлены: объектив 1, система из двух прямоугольных призм 8, 9 и окуляр 6. Обе трубки прибора соединены шарниром 3, 4 для установки нужного расстояния между глазами в пределах от 56 до 72 мм. В правой половине бинокля в фокальной плоскости окуляра и объектива расположена сетка 5, с помощью которой можно определять расстояния и углы. Сетка (рис. 13) имеет деления через 0—05 или 0—10 и устанавливается только в одной трубке.

Интервал деления на сетке определяют по формуле прикладной оптики: $\Delta = f'_{об} \cdot \operatorname{tg} \alpha$, где $f'_{об}$ — фокусное расстояние объектива бинокля; α — цена деления сетки в тысячных.

Все типы призматических биноклей имеют увеличение 6×, 8×, 15×. Окуляры для коррекции дальнозоркости или близорукости глаза имеют диоптрийную наводку ±5 диоптрий.

Все типы биноклей конструктивно оформлены однотипно: каждая трубка бинокля имеет силуминовый корпус 10 (см. рис. 12) сложной конфигурации с мостиком для призм. Установленные на мостик призмы фиксируются (прижимаются) плоскими пружинами. Для защиты от коррозии корпус внутри оксидируют, а снаружи покрывают лаком и обтягивают кожей или резиной с накаткой.

Объектив 1 помещен в оправу 11, которая установлена в обойму 2 и закреплена зажимным кольцом 12. Окуляр 6 установлен на основании корпуса и фиксируется зажимным кольцом 7.

Зрительные трубы используют для наблюдения удаленных предметов. По устройству оптической системы они представляют собой телескопическую систему типа астрономической трубы Кеплера с большим увеличением порядка $10\times$ — $60\times$ и малым полем зрения до 1 — 3° . В фокальной плоскости окуляра имеется сетка для визирования на предметы. В зрительных трубах имеются фокусирующие устройства, так как рассматриваемые предметы могут находиться на различных расстояниях от прибора. Фокуси-

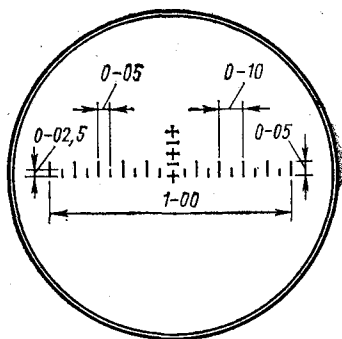


Рис. 13. Угломерная сетка бинокля

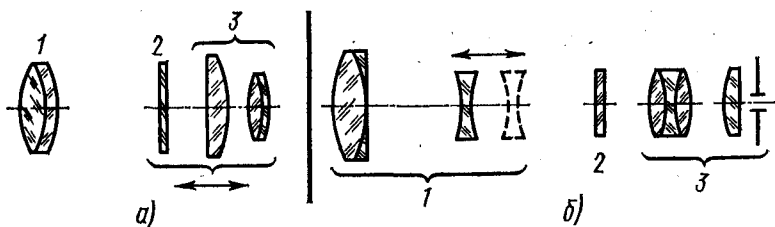


Рис. 14. Типы зрительных труб:

а — с внешней фокусировкой, б — с внутренней фокусировкой; 1 — объектив, 2 — угломерная сетка, 3 — окуляр

ровка происходит перемещением окуляра с сеткой относительно объективной части трубы (неподвижной). Окуляр перемещается реечным механизмом при вращении трибки. Конструкция оптической системы, представленной на рис. 14, а, имеет название трубы с внешней фокусировкой.

В целом ряде приборов широко применяют трубы с внутренней фокусировкой (рис. 14, б). Объектив трубы в этом случае состоит из двух компонентов, находящихся друг от друга на определенном расстоянии, и представляет собой телеобъектив. Фокусировка на предмет происходит перемещением «фокусирующей» второй линзы.

Труба с внутренней фокусировкой имеет ряд преимуществ перед трубой с внешней фокусировкой: меньшая длина трубы; боль-

шая герметичность трубы; малые колебания визирной оси при фокусировке.

Оправу зрительных труб изготавливают во избежание деформации линз из стали, коэффициент линейного расширения которой близок к коэффициенту линейного расширения стекла.

В трубах с внешней фокусировкой объектив обычно состоит из двух склеенных линз, которые закреплены зажимным кольцом через пружинное кольцо. В трубах с внутренней фокусировкой первый компонент телеобъектива может состоять из двух склеенных линз, двух линз с воздушным промежутком или из трех линз.

В поле зрения прибора имеется угломерная сетка (см. рис. 13), вид которой зависит от назначения и точности прибора. Простейшая сетка имеет вид перекрестия. Часто в поле зрения прибора встраивают нитяной дальномер, при этом видны три полные или неполные горизонтальные нити.

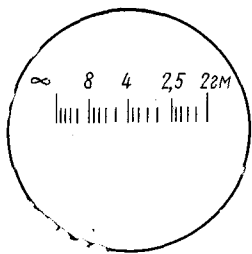


Рис. 15. Штриховая дистанционная шкала

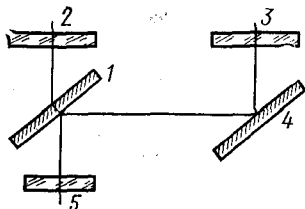


Рис. 16. Устройство дальномера фотоаппарата «Смена»

Расстояние между двумя нитями на сетке определяется по формуле: $P = f'_{об} / K$, где $f'_{об}$ — фокусное расстояние объектива; K — коэффициент дальномера.

Коэффициент дальномеров равен 100, 200, 300 и т. д.

Дальномеры применяют для измерения расстояний до отдельных объектов на местности. В технике получили распространение следующие типы дальномеров: для фотоаппаратов (фотодалномеры), геодезические и специальные. Специальные дальномеры подразделяют на морские, зенитные, саперные, армейские и т. д.

В качестве измерительного устройства в дальномерах используется штриховая дистанционная шкала, линзовые компенсаторы, призмы и отражающие зеркала.

Штриховая дистанционная шкала (рис. 15) представляет собой систему штрихов, расстояние которых от нулевого штриха равно величине изображения предмета при заданных дистанциях.

В ряде дальномеров применяют также и угломерные шкалы, расстояние между штрихами которых соответствует угловым единицам.

Разновидностью угловой шкалы является сетка геодезического прибора, используемая для определения расстояний. Расстояние (дистанция) при этом определяется по формуле: $D = KB$, где K —

коэффициент дальномера; B — значение базы (размер предмета по сетке).

Устройство фотодальномера. Фотодальномеры применяют в фотоаппаратах для наведения на резкость фотографируемого объекта. Фотодальномером определяют расстояние до объекта фотографирования.

Дальномер фотоаппарата «Смена» (рис. 16) имеет два зеркала 1 и 4; зеркало 1 — полупрозрачное, поэтому оно пропускает часть лучей, зеркало 4 — непрозрачное, качающееся. Стекла 2, 3 и 5 являются защитными стеклами. Оператор через стекло 5 при съемке видит два изображения предмета, которые образуются как левой, так и правой частями дальномера. С помощью наводного устройства на объективе оператор разворачивает зеркало 4 до совмещения двух изображений в одно целое. При этом отсчет по шкале расстояний дает истинное расстояние до объекта фотографирования, которое затем вручную устанавливают на объективе фотоаппарата.

§ 3. Фотоаппараты и проекционные приборы

Фотоаппараты предназначены для съемок объектов. Типы отечественных фотоаппаратов приведены в табл. 1*.

Основные части фотоаппарата: объектив, диафрагма, затвор и видоискатель.

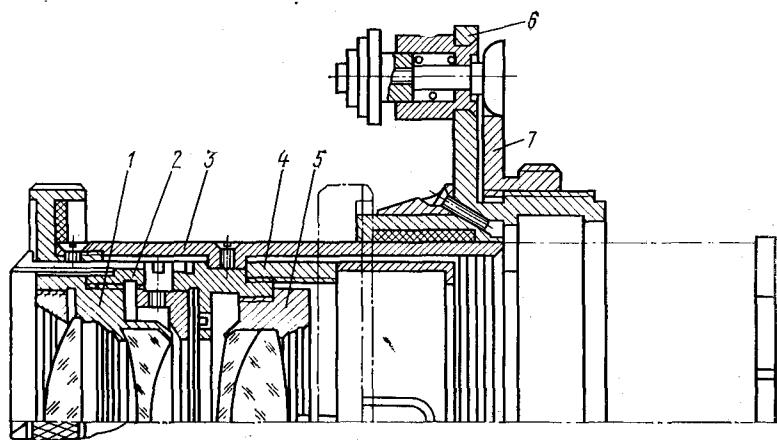


Рис. 17. Объектив «Индустар-22»

Объектив (рис. 17) является наиболее важным оптическим узлом аппарата. На оправе объектива обозначаются: тип объектива; фокусное расстояние; относительное отверстие.

* Таблицы даны в приложении в конце книги.

Фокусное расстояние объектива определяет масштаб съемки; большему фокусному расстоянию соответствует большее изображение на кадре. Размер изображения предмета определяется формулой: $y' = yf'/S$, где y — размер предмета; f' — фокусное расстояние объектива; S — расстояние от предмета до объектива.

Светосила объектива характеризует способность создавать освещенность изображения; она зависит от диаметра действующего отверстия объектива.

Если взять два аппарата, имеющих одинаковые фокусные расстояния, но разные диаметры объективов, и навести их на один и тот же объект, то изображение будет иметь большую освещенность в том аппарате, объектив которого имеет больший диаметр.

Освещенность изображения E , даваемая объективом, прямо пропорциональна площади отверстия объектива F и обратно пропорциональна квадрату фокусного расстояния f' : $E = F/(f')^2$.

Чтобы обеспечить высокое качество изображения, объективы выполняют из нескольких линз. В некоторых типах объективов число линз составляет более десяти, иногда линзы объектива склеивают между собой. Склеивание соприкасающихся оптических деталей применяют для уменьшения световых потерь и упрощения технологии сборки и юстировки. Собранный из нескольких линз объектив имеет единую оптическую ось, так как все линзы центрированы. Параметры каждой линзы и расстояние между ними рассчитывают и подбирают так, чтобы устранить явление аберрации.

Аберрация — это явление изменения качества изображения от центра к краю объектива. При аберрации нарушается резкость изображения, появляется цветная кайма. Полностью все аберрации устранить технически невозможно.

Объективы подразделяют на две группы: астигматы и анастигматы.

Астигматами называют объективы с недостаточным исправлением аберраций. Такие объективы применяют в фотоаппаратах простых конструкций.

Анастигматами называют объективы, в которых аберрации в значительной степени исправлены. Такие объективы применяют в большинстве современных фотоаппаратов.

Большое применение имеет объектив-анастигмат, состоящий из трех компонентов. Такие объективы носят название триплет и обозначаются буквой Т.

В фотоаппарате «Смена» объектив «Т» обеспечивает возможность получения высококачественного изображения, пригодного для многократного увеличения. Объективы триплет бывают как с неподвижными компонентами, так и с передвигаемой передней линзой для наводки на резкость.

Триплет «Индустар» является совершенным объективом, он применяется в таких аппаратах, как «Зоркий», «Москва», «ФЭД» и различных увеличителях.

Триплет «Индустар-22» (см. рис. 17) имеет убирающийся тубус 3 с фиксацией в рабочем положении. В оправе 2 установлены

линзы 1 и 5 на резьбе в своих оправках. Оправа 2, в свою очередь, крепится резьбовым кольцом 4 в тубусе 3. Для наводки объектива на фокус необходимо переместить кольцо 6 по резьбе кольца 7. С помощью кольца 6 осуществляется связь с дальномером камеры.

«Руссар» (МР-2) — шестилинзовый широкоугольный объектив. Объектив предназначен для фотоаппаратов «Зоркий» и применяется для архитектурных и панорамных съемок. Объектив обладает высокой разрешающей способностью по всей площади изображения.

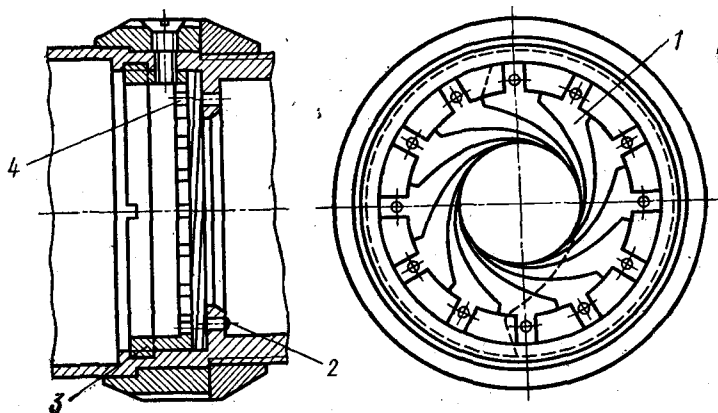


Рис. 18. Ирисовая диафрагма.

«Рубин-1Ц» — объектив с переменным фокусным расстоянием, является объективом со сложной оптической системой с большим числом линз. Объектив позволяет плавно изменять фокусное расстояние более чем в два раза. Такие объективы получили большое применение в кино- и фототехнике, телевидении. Объектив «Рубин-1Ц» устанавливается в зеркальном фотоаппарате «Зенит-6».

По конструкции объективы разделяются на сменные и жестковстроенные.

Сменные объективы состоят из собственно объектива с оптическими узлами, корпуса, механизма диафрагмы, механизма фокусировки и механизма привода дальномера. Такими объективами снабжены фотоаппараты «Зоркий», «ФЭД», «Ленинград», «Киев».

Оправа объектива выполняет целый ряд функций: надежное крепление деталей объектива; уменьшение светорассеяния; точность перемещения всего объектива и его частей при фокусировке; центрировку линз объектива; точность расчетных расстояний между линзами.

Жестковстроенные объективы устанавливают в центральные затворы. Качество изображения таких объективов ниже, чем у объективов, собранных в отдельной оправе, так как при такой конструкции объектива разъемные детали затвора ухудшают качество центрировки оптических частей.

Диафрагма — устройство, которое служит для изменения диаметра действующего отверстия объектива. Диафрагмирование приводит к изменению освещенности изображения и изменению глубины резкости изображаемого объекта.

Наибольшее применение в современных объективах имеют ирисовые диафрагмы (рис. 18), которые имеют ряд подвижных лепестков 1, образующих круглое отверстие, диаметр которого можно плавно изменять. Лепестки диафрагмы имеют на своих концах штифты. Осевой штифт 2 лепестка входит в отверстие оправы; ведущий штифт 4 — в соответствующий радиальный паз поворотной коронки 3. При вращении коронки все лепестки поворачиваются в оправе и изменяют диаметр отверстия диафрагмы.

Фотографический затвор — механизм, служащий для открытия действующего отверстия объектива на определенный промежуток времени, называемый выдержкой.

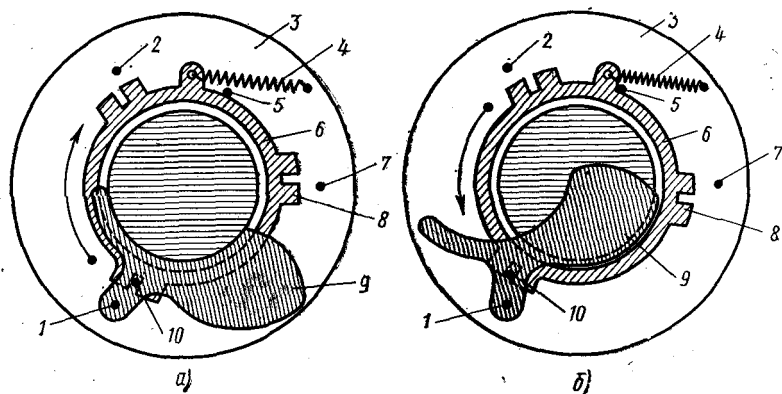


Рис. 19. Устройство центрального затвора:

а — затвор открыт, б — затвор закрыт

Затворы подразделяют на центральные и шторно-щелевые. Центральные затворы имеют круглое световое отверстие, которое открывается от центра затвора к краям, а закрывается от краев к центру. Шторно-щелевые затворы имеют квадратное или прямоугольное световое окно, которое открывается постепенно от одного края к другому.

Устройство и работа центрального затвора (рис. 19). Центральные затворы имеют ряд лепестков, которые симметрично установлены относительно светового отверстия. В исходном положении лепестки закрывают световое отверстие затвора. На плате 3 на осях 1, 2 и 7 вращаются три лепестка 9 (на схеме показан один лепесток). На каждом лепестке имеется столбик 10, который входит в шлиц 8 кольца лепестков 9. Лепесток при закрытии совершает поворот по часовой стрелке, а при открытии — против часовой стрелки. Открытие затвора происходит под действием заводной пружины, закрытие — под действием пружины 4, которая поворачивает кольцо 6 до упора 5.

При вращении кольца 6 происходит захват шлицем 8 столбика 10 лепестка; лепесток поворачивается относительно оси 1 — происходит открытие или закрытие затвора.

Устройство и работа шторно-щелевого затвора (рис. 20). В шторно-щелевых затворах открытие и закрытие светового отверстия происходит с помощью щелевой заслонки, которая состоит из двух шторок.

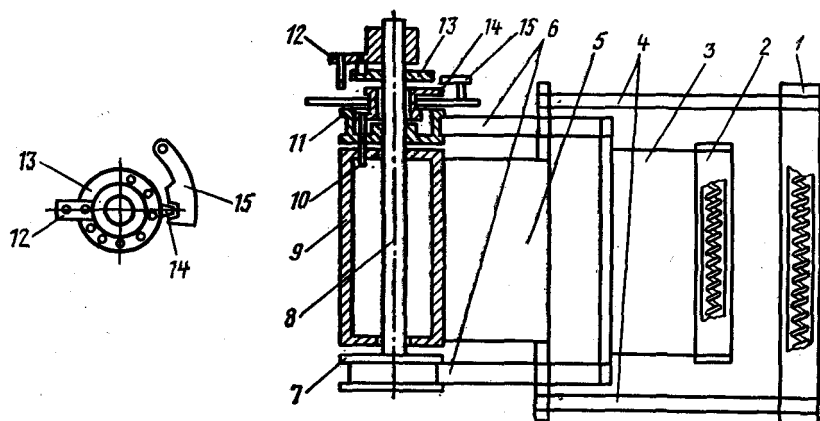


Рис. 20. Устройство шторно-щелевого затвора

Шторка 3 с одной стороны закреплена на натяжном валике 2, с другой стороны скреплена связью 6 со шкивами 7, 11. Под действием пружины валик 2 стремится подмотать на себя шторку 3. Вторая шторка 5 с одной стороны закреплена на вращающемся барабане 9, а с другой стороны скреплена связями 4 с натяжным валиком 1, внутри которого установлена пружина.

При взведенном положении затвора обеспечивается необходимая светонепроницаемость, так как шторы накладываются одна на другую. При спуске затвора опускается вниз собачка 15 и захватывает кулачок 14, который связан штифтом 10 с барабаном 9, свободно сидящим на оси 8. Под действием пружины валика 2 через шторку 3 и связь 6 ось получает вращение — шторка 3 открывает часть кадра.

Закрытие кадрового окна происходит от второй шторы, при этом кулачок 12 ударяет по собачке 15 и освобождает кулачок 14. Вторая шторка, закрепленная на барабане 9, закрывает окно. Диапазон перемещений кулачка 12, который фиксируется в отверстиях диска экспозицией 13 с помощью штифта, обеспечивает получение автоматических выдержек в широком диапазоне от 1/1000 и 1/25 с изменением ширины щели между шторками от 1 до 40 мм.

Современные затворы имеют механизм зажигания ламп вспышек и синхронизации их с работой затвора.

Видоискатель применяется для ориентации фотоаппарата относительно объекта и для выбора нужных границ кадра. Существуют два вида видоискателей: рамочные и оптические.

Рамочный видоискатель имеет две рамки прямоугольной формы, которые расположены на определенном расстоянии друг от друга. Видоискатель прост по конструкции, но в настоящее время практически не применяется из-за больших ошибок при визировании.

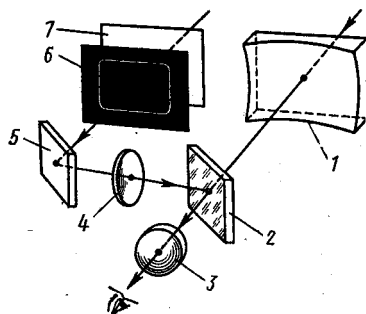


Рис. 21. Устройство видоискателя:

1 — объектив, 2 — полупрозрачное зеркало, 3 — окуляр, 4 — линза, 5 — зеркало, 6 — рамка, 7 — окно видоискателя

Оптический видоискатель типа «Визир прямого зрения» (рис. 21) состоит из двух линз: отрицательной — объектива 1 и положительной — окуляра 3. Такой визир дает четкое прямое, но уменьшенное изображение.

В современных аппаратах с механизмами автоматической и полуавтоматической установки выдержек и диафрагм в поле зрения визира вводят стрелку экспонометра, шкалы диафрагм и выдержек, с тем чтобы быстро произвести съемку объекта, не отрывая глаз от окуляра.

Кинопроекционная аппаратура. По назначению кинопроекторы подразделяют на стационарные, передвижные и любительские. Основной характеристикой кинопроектора является его полезный световой поток. Чем больше полезный световой поток, тем больший экран может осветить проектор с требуемой освещенностью.

Полезным световым потоком проектора называется световой поток, выходящий из объектива работающего аппарата при отсутствии фильма в фильмовом канале. Светооптическая система включает в себя источник света, осветительную оптику и проекционный объектив.

В качестве источника света применяют лампы различных типов: лампы накаливания, ксеноновые лампы и другие лампы с угольными электродами.

Лампы накаливания в силу ограниченности светового потока применяют преимущественно в любительских и передвижных 16 и 35 мм кинопроекторах. Ксеноновые и дуговые угольные лампы применяют в стационарных кинопроекторах. Недостаток дуговых ламп — сложность их эксплуатации из-за высокой скорости сгорания углей, применение специальной системы охлаждения угледержателей и зеркала, а также необходимость удаления продуктов сгорания.

Осветительная оптическая система предназначена для создания и направления на кадровое окно наибольшей части светового потока источника света. Существуют три типа осветительных систем: зеркальная, конденсорная и зеркально-конденсорная.

Зеркальная система позволяет лучше использовать свет источника, однако зеркало должно иметь большие размеры. Поэтому зеркальная система применяется в основном в стационарных проекторах.

Зеркально-конденсорная осветительная система применяется в передвижных и любительских проекторах. При сравнительно больших габаритах она позволяет получать хорошее использование светового потока источника света.

Стационарный кинопроектор КПТ-2 имеет следующие основные части: станину, стол, фонарь и проекционную головку.

Станина является основанием проектора, на котором закреплен стол. Внутри стола установлены ручки управления, электрические элементы. В фонаре установлен механизм подачи углей, угледержатели, сфероэллиптическое зеркало в оправе, противопожарные заслонки, устройство для отвода продуктов сгорания углей. На боковой стенке фонаря смонтировано проекционное устройство для наблюдения за положением углей. Фонарь имеет три дверцы для удобства доступа при замене, регулировке углей и зеркала, а также для чистки и смазки механизма подачи углей.

Проекционная головка имеет две противопожарные кассеты для бобин с кинофильмом, проекционный объектив и узлы звуковоспроизведения. На лицевой части головки расположены элементы лентопротяжного механизма (рис. 22). Фильм из верхней кассеты 1 вытягивается тянущим барабаном 3, проходит противопожарный канал 2, и образуя петлю, поступает в фильмовый канал 4. Зубчатый барабан 5 осуществляет прерывистое движение фильма в фильмовом канале. Успокаивающий зубчатый барабан 6 сглаживает колебания и неравномерности скорости движения фильма.

Звуковая часть состоит из барабана 7, прижимного ролика 8 и направляющего ролика 9. Фильм протягивается звуковым зубчатым барабаном 10. После звукового барабана фильм поступает на задерживающий зубчатый барабан 11, а затем через нижний противопожарный канал 12 проходит в приемную кассету 13.

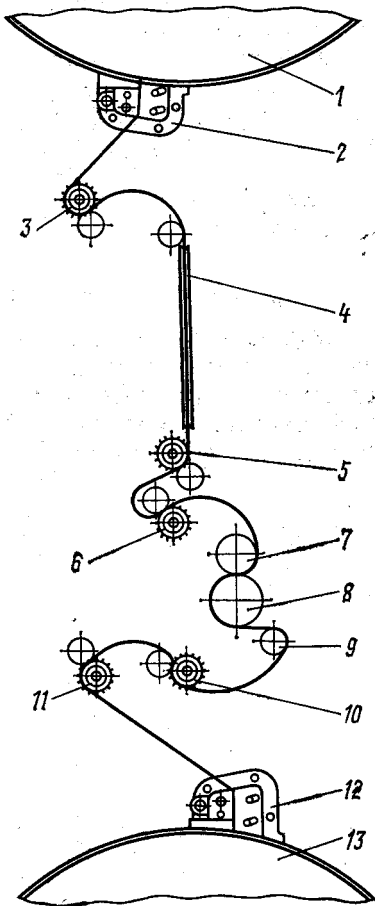


Рис. 22. Схема лентопротяжного механизма кинопроектора КПТ-2

На полом барабана 7 происходит воспроизведение звука с помощью специальной читающей оптики. Читающая оптика состоит из источника света — звуковой лампы, освещающей специальную диафрагму (механическую щель), и микрообъектива, проецирующего диафрагму на фонограмму (звуковую дорожку) фильма в виде светового штриха. За фильмом установлен фотоприемник — фотоэлектронный умножитель ФЭУ-1. Световой поток, пройдя фонограмму фильма, падает на катод фотоумножителя ФЭУ-1, затем с выхода усилителя напряжение подается на громкоговорители.

§ 4. Микроскопы и электронно-оптические приборы

Микроскопы. В связи с большим разнообразием технических задач при исследовании объектов микроскопы подразделяют на следующие основные типы: люминесцентные, ультрафиолетовые и инфракрасные, металлографические, поляризационные, стереоскопические, интерференционные, специальные.

Элементами оптической системы микроскопа являются: объектив, окуляр, коллектор, конденсор.

К механическим элементам микроскопа относятся: штатив, механизм осветительной системы, тубус, предметный столик.

Элементы оптической системы микроскопа. Микроскоп имеет оптическую систему (рис. 23) с двумя ступенями увеличения: первая осуществляется объективом 3, вторая — окуляром 1.

Объектив образует действительное увеличенное и перевернутое изображение, окуляр образует вторично увеличенное мнимое изображение. В результате микроскоп дает возможность рассматривать изображение под большим углом, но изображение становится перевернутым. Общее увеличение микроскопа равно произведению увеличений объектива и окуляра: $y = y_1 y_2$, где y_1 — увеличение объектива; y_2 — увеличение окуляра.

Объектив микроскопа представляет сложную оптическую систему, которая дает увеличенное изображение объекта. Он является наиболее ответственной частью микроскопа. Существует ряд типовых конструкций объективов, которые отличаются друг от друга техническими данными.

Объективы по увеличению разделяются на три группы: малых увеличений, средних увеличений, больших увеличений.

При конструировании объективов больших увеличений учитывается рассмотренное ранее явление **абберации**. Объективы на

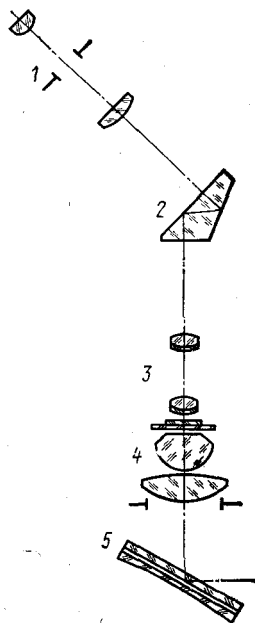


Рис. 23. Оптическая система микроскопа МБР-1:

1 — окуляр, 2 — призма, 3 — объектив, 4 — конденсор, 5 — зеркало

малое и среднее увеличение часто выполняют из одного компонента, склеенного из двух линз. В них хорошо исправляется малая аберрация. Объективы с увеличением от 5 до 10^x обычно состоят из двух двойных склеенных линз, расположенных одна от другой на определенном расстоянии.

Объективы с увеличением от 40^x и выше имеют сложную конструкцию для коррекции аберрации. Например, объектив ОМ-15 имеет четыре линзы. Между третьей и четвертой линзами установлена ирисовая диафрагма, что позволяет применять объектив для наблюдения объектов в темном поле. За четвертой (последней) линзой объектива установлены две постоянные диафрагмы: одна диаметром 6 мм на расстоянии 1,5 мм, другая диаметром 8 мм на расстоянии 15 мм. Эти обе диафрагмы улучшают качество изображения.

Для универсальных микроскопов предусмотрена возможность работы со сменными объективами, имеющими стандартную высоту. Это позволяет сократить время на установку и перенастройку микроскопа.

Существует большое количество различных типов объективов, которые имеют следующую маркировку: ОХ — ахромат, АПО — апохромат, ОПХ — планхромат; ОПА — планаохромат; ОМХ — монохромат; ОК — кварцфлюоритовый; ОР — зеркальный или зеркально-линзовый; ОЭ — эпиобъектив. К этим обозначениям добавляются буквы: П — поляризационный; Л — люминесцентный; Ф — фазовый; ФА — фазовый темнопольный; ЛК — люминесцентный контактный; ФЛ — фазовый люминесцентный; Ж — желатиновый.

Для соединения с тубусом микроскопа объектив имеет специальное сопряжение.

Окуляр служит для рассматривания увеличенного изображения предмета, даваемого объективом. Он выполняет роль лупы и дает прямое увеличенное мнимое изображение.

Увеличение лупы определяется формулой: $y = 25/F$, где F — главное фокусное расстояние лупы.

Лупа — положительная линза или система линз, предназначенная для визуального наблюдения предмета.

Чтобы избежать при смене окуляра перенастройки микроскопа, опорная плоскость у всех окуляров находится на одном и том же расстоянии, равном 13 мм.

Наиболее простой окуляр состоит из двух линз. Глазная линза склеена из двух различных марок стекла, благодаря чему достигается хорошее исправление аберрации и увеличивается угол зрения окуляра до 40—50°.

Симметричный окуляр, состоящий из двух симметрично расположенных склеенных линз, применяется для микрофотографии и из-за малого увеличения для визуальных наблюдений применяется редко.

В качестве сильных окуляров применяют конструкцию, состоящую из трех простых линз: первая линза — отрицательная и

имеет большую оптическую силу, две другие — положительные. Линзы устанавливаются на значительном расстоянии друг от друга. Такая конструкция окуляров носит название окуляра Кербера.

Коллектор — оптическая система, служащая для передачи изображения источника света в увеличенном масштабе в плоскость конденсатора и в плоскость, сопряженную с выходным зрачком объектива. Коллектор устанавливается непосредственно у источника света.

За счет оптической системы коллектора источник света располагается на большом расстоянии от столика микроскопа и не подвергается его существенному нагреву. Размером и типом источника света определяется габарит кожуха фонаря, в котором находится коллектор с источником света.

Коллекторы могут иметь от одной до трех простых линз. Наличие в коллекторе aberrации нарушает изображение источника света, поэтому с этим явлением приходится бороться, усложняя конструкцию коллектора.

Конденсор (рис. 24) служит для освещения объектов наблюдения, исследуемых под микроскопом. Конденсор состоит из верхней 1 и нижней 2 линз, ирисовой диафрагмы 4 и оправы светофильтра 3. Основной характеристикой конденсора является его фокусное расстояние. В зависимости от конструкции конденсор может иметь от одной до четырех линз. В некоторых типах конденсоров имеется ирисовая диафрагма для регулирования освещенности.

Рис. 24. Конденсор

Механические элементы микроскопа. **Штатив** микроскопа является конструкцией, несущей оптическую часть микроскопа. От его конструкции зависит качество микроскопа, плавность фокусировки, удобство эксплуатации.

Штатив микроскопа должен иметь высокую жесткость, точность подгонки механизмов и обладать плавностью хода.

Наиболее распространенными типами являются С-образная и Г-образная конструкции штатива. Конструкция штатива определяется формой тубусодержателя 7 (см. рис. 25). Г-образная форма имеет некоторое преимущество в удобстве наблюдения, но меньшую жесткость по сравнению со штативом С-образной формы.

На штативе имеются механизм грубого перемещения и механизм точной фокусировки.

Механизм грубой фокусировки 9 может перемещать тубус микроскопа или предметный столик. Перемещение должно происходить плавно и без люфтов. Для плавности хода и большей износоустойчивости направляющие и зубчатую рейку делают из латуни.

Механизм точной фокусировки (микромеханизм) 8 и его рукоятка 10 служат для точной установки объектива на резкость изображения. Величина точного перемещения тубуса или столика составляет не более 2 мм. Поэтому данное устройство является микромеханизмом. В современных микромеханизмах один полный оборот его рукоятки соответствует перемещению микроскопа на 0,1 мм, при такой чувствительности микромеханизма обеспечивается необходимая точность фокусировки. Конструкции микромеханизмов в современных микроскопах довольно разнообразны: зубчато-рычажные, рычажно-винтовые и винтовые. Размер зубчатого рычага зубчато-рычажного микромеханизма выбирается так, чтобы одному обороту винта микромеханизма соответствовало перемещение направляющих на 0,1 мм. Отсчетный барабанчик механизма имеет 50 делений, следовательно, поворот барабанчика на одно деление дает перемещение направляющих на 0,002 мм. Механизм рассчитан на 25 оборотов винта микромеханизма. Рукоятка микромеханизма имеет специальное устройство от перегрузки, что предохраняет объект исследования и объектив от разрушения.

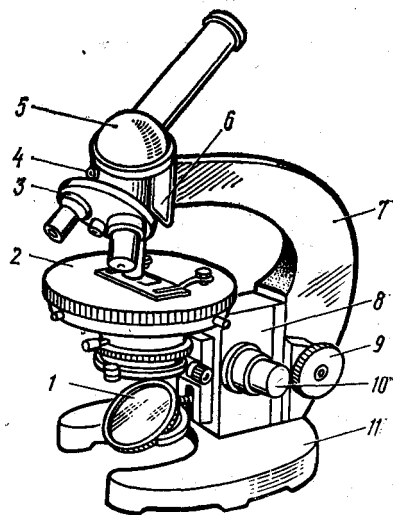


Рис. 25. Микроскоп МБР-1:

1 — зеркало, 2 — предметный столик, 3 — револьвер, 4 — винт крепления тубуса, 5 — наклонный тубус, 6 — головка, 7 — тубусодержатель, 8 — микромеханизм, 9 — рукоятка грубой фокусировки, 10 — рукоятка микромеханизма, 11 — башмак

Тубус 5 представляет собой трубу, на которой в верхней части установлен патрубок для окуляра, а в нижней — устройство для крепления револьвера объектива. Прямые тубусы бывают простые и с выдвижным внутренним тубусом; механическая длина тубуса во всех микроскопах постоянна и равна 160 ± 1 мм.

Устройство, предназначенное для быстрой смены объектива микроскопа, называется револьвером. Оно позволяет производить быстрое изменение увеличения микроскопа.

Предметный столик 2 служит для размещения на нем объектов исследования и перемещения их вдоль оси микроскопа. Столик может быть металлическим или пластмассовым. На корпусе столика имеются клеммы для крепления объекта наблюдения и установки предметного стекла. Столик может вращаться.

Устройство микроскопа МБР-1. Микроскоп МБР-1 (рис. 25) применяется в лабораторных исследованиях во многих отраслях промышленности. Комплект объективов и окуляров, при-

лагаемых к микроскопу, позволяет иметь увеличения от 56 до 1350 $\times$.

Оптическая система прибора представлена на рис. 23. Пучок лучей от источника света попадает на зеркало 5, затем от зеркала направляется на конденсор 4, проходит через рассматриваемый объект и попадает в объектив 3. Призма 2, расположенная за объективом, изменяет ход лучей, направляя ось пучка под углом 45° к вертикали в фокальную плоскость окуляра 1. Окуляр позволяет рассматривать увеличенное изображение объекта.

Основанием микроскопа (см. рис. 25) является башмак 11, который имеет подковообразную форму. На башмаке имеется микромеханизм 8 для точной фокусировки прибора. Кроме того, на башмаке с одной стороны закрепляется тубусодержатель 7, с другой — кронштейн конденсора. Рукоятка 10 служит для управления микромеханизмом. Величина перемещения тубуса определяется по шкале барабана, на которой имеется 50 делений. Одно деление барабана соответствует перемещению тубуса на 0,002 мм. Величина перемещения тубуса микромеханизмом равна 2,4 мм.

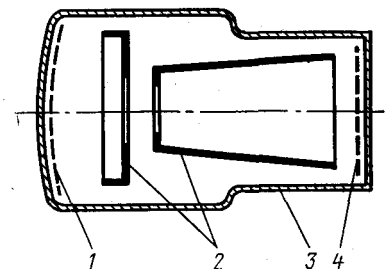


Рис. 26. Устройство электронно-оптического преобразователя:

1 — фотокатод, 2 — управляющие электроды, 3 — корпус, 4 — экран

Рукоятка 9 осуществляет грубую фокусировку. Предметный столик 2 имеет возможность перемещаться по горизонтали и вращаться. Под столиком в кронштейне установлен конденсор, который вращением рукоятки может перемещаться вверх и вниз. Конденсор двухлинзовый, имеет ирисовую диафрагму, которая может изменять освещенность.

В тубусодержателе на головке 6 имеется направляющая для крепления револьвера 3. Револьвер представляет собой сферическую чашу с четырьмя отверстиями для объективов, чаша имеет возможность вращаться на оси и имеет фиксаторы для фиксации положения любого из четырех объективов перед объектом наблюдения.

В наклонный тубус 5 закрепляют окуляры. Зеркало 1 может быть установлено в любое удобное для работы положение.

Электронно-оптические преобразователи. Развитие ряда областей науки и техники способствовало разработке нового фотоэлектронного вакуумного прибора, предназначенного для преобразования изображения из одной области спектра в другую, а также для усиления яркости изображения. Такой прибор называется электронно-оптическим преобразователем (ЭОП).

Электронно-оптический преобразователь (рис. 26) представляет собой фотоэлектронный вакуумный прибор.

Фотокатод 1 имеет светочувствительный кислородно-цезиевый слой. Под действием падающего на него излучения фотокатод на-

чинает испускать электроны, т. е. возникает фотоэмиссия. Под действием приложенного к управляющим электродам 2 напряжения образуется ускоряющее электростатическое поле, которое направляет поток электронов на экран 4. Конструкцию электродов и напряжение, приложенное к ним, выбирают так, чтобы поток электронов фокусировался на экране 4. Поэтому по аналогии с оптическими линзами такие приборы называют «электронными линзами». «Электронные линзы», подобно оптическим линзам, создают линейное увеличение и перевернутое изображение объекта. Кроме того, они в несколько раз увеличивают яркость изображения.

В практике используют одно- и многокамерные ЭОПы, однако к недостаткам многокамерных приборов можно отнести: необходимость использования высоковольтного источника питания (до 50 кВ), появление фона, сильно понижающего контрастность изображения.

ЭОПы применяют для наблюдения слабо освещенных объектов, преобразования изображения из одной области спектра в другую, изучения быстротекущих процессов (в ядерной физике, технике), усиления яркости рентгеновского изображения (в медицине), преобразования ультразвукового изображения в видимое, наблюдения объектов в лучах инфракрасной области с помощью микроскопа, передачи изображения в передающей телевизионной трубке.

Для наблюдения далеких астрономических объектов с помощью ЭОПа удастся усилить поток фотонов, попадающих от далеких звезд через телескоп на фотопленку.

Большим помощником оказался ЭОП и в рентгеноскопии и дефектоскопии. Для улучшения качества рентгеноскопии требуется повысить яркость изображения примерно в 1000 раз. Современные рентгеновские ЭОПы позволяют повысить яркость в 3—5 тыс. раз, поэтому они применяются также в обнаружении дефектов сварных швов, деталей, отливок и т. д.

Большой технический прогресс связан с использованием в промышленности новых мощных квантовых генераторов света — лазеров. Для создания оптического квантового генератора (лазера) необходима внешняя энергия возбуждения, которая используется для перевода атомов или ионов активного вещества с нижнего энергетического уровня на верхний. Под действием внешнего слабого сигнала, длина волны которого соответствует длине волны генерации усилителя, возникает усиленное стимулирование излучения той же длины волны.

Для возникновения генерации света необходимы некоторые условия: источник возбуждения; активное тело должно находиться между двумя зеркалами, образующими резонатор; усиление, даваемое активным телом, т. е. число возбужденных электронов, атомов в активном теле должно быть более порогового значения.

Активным телом лазера могут быть твердые вещества (рубин, неодимовое стекло), жидкости и газы.

Лазеры предназначены для генерирования узконаправленных лучей света очень большой мощности вследствие вынужденного излучения. В лазерах может достигаться колоссальная спектральная яркость, которая значительно превосходит спектральную яркость Солнца.

Например, использование лазерной установки АК-345 позволяет в 600 раз ускорить время обработки камней на часовых заводах. Высокопроизводительные лазерные установки СУ-1, УЛ-20М, Квант-9, 10, 12, «Кристалл», «Корунд» используются при производстве новейших образцов электронной техники и интегральных схем. Телевизионно-лазерные микроскопы ТЛМ-1 используются для измерения диаметров отверстий, определения точности взаимного расположения деталей, контроля качества поверхностей. Лазерная установка Алмаз-1,2 позволяет производить анализ чистоты приборных жидкостей, топлив, масел, размеров непрозрачных частиц и т. д.

Контрольные вопросы

1. Какие основные оптические элементы имеет бинокль?
2. Какое назначение имеют штриховые дистанционные шкалы и сетки в биноклях и зрительных трубах?
3. Какие основные оптические характеристики имеет фотоаппарат?
4. В чем заключается явление аберрации объективов?
5. Какое назначение имеют диафрагмы в фотоаппаратах?
6. В чем заключается отличие конструкции центрального фотозатвора от шторно-щелевого?
7. Какое назначение имеет видоискатель?
8. Из каких основных оптических элементов состоит микроскоп?
9. Какое устройство имеет электронно-оптический преобразователь?

ГЛАВА III

ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

§ 1. Понятие о погрешностях и классах точности

Погрешность (точность) измерительного прибора характеризуется разностью показаний прибора и истинным значением измеряемой величины. В практических измерениях истинное значение измеряемой величины не может быть точно определено в силу имеющихся погрешностей измерительных приборов, которые возникают из-за целого ряда факторов присущих собственно измерительному прибору и изменению — внешних магнитных и электрических полей, колебаний напряжения питания, температуры и влажности окружающей среды и т. п.

Средства измерительной техники характеризуются двумя видами погрешностей: основной и дополнительной.

Основная погрешность характеризует работу прибора в нормальных условиях, оговоренных техническими условиями завода-изготовителя.

Дополнительная погрешность возникает в приборе при отклонении одной или нескольких влияющих величин от требуемых

технических норм завода-изготовителя. Погрешность измерений выражается в абсолютных и относительных величинах.

Абсолютная погрешность — разность между показанием (рабочего) прибора и истинным (действительным) значением измеряемой величины $\Delta x = x - x_0$, где x — показание (рабочего) прибора, x_0 — истинное (действительное) значение измеряемой величины.

Истинное значение измеряемой величины измеряется образцовым прибором. Например, если при измерении напряжения постоянного тока показания рабочего вольтметра были $U_x = 214$ В, а образцового $U_{x_0} = 220$ В, то абсолютная погрешность измерения будет равна:

$$\Delta U = U_x - U_{x_0};$$

$$\Delta U = 214 - 220 = -6 \text{ В.}$$

Однако в измерительной технике наибольшее применение имеют относительная и приведенная погрешности измерений.

Относительная погрешность измерения $\gamma_{\text{отн}}$ характеризуется отношением абсолютной погрешности Δx к действительному значению измеряемой величины x_0 (в процентах) $\gamma_{\text{отн}} = (\Delta x / x_0) \times 100\%$.

Для нашего примера $\Delta_{\text{отн}} = (\Delta U / U_{x_0}) \cdot 100\%$; $\Delta_{\text{отн}} = (-6 / 220) \times 100\% = -2,71\%$.

Для оценки точности измерительных приборов служит приведенная погрешность $\gamma_{\text{пр}}$. Приведенная погрешность $\gamma_{\text{пр}}$ представляет собой отношение абсолютной погрешности прибора Δx к постоянной для прибора нормирующей величине (диапазону измерения, длине шкалы, верхнему пределу измерения): $\gamma_{\text{пр}} = (\Delta x / x_N) \cdot 100\%$.

Для оценки точности приборов вводится понятие класса точности приборов.

Класс точности СЭТ — обобщенная характеристика, определяемая пределами допускаемых основной и дополнительной погрешностей и параметрами, влияющими на точность измерений, значения которых устанавливаются стандартами. В СССР введены следующие классы точности приборов: 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5; 4,0.

Если для измерения напряжения используют два вольтметра: один — класса 0,5, другой — класса 2,5 с одним и тем же пределом измерений 0—100 В, то абсолютная погрешность измерений в любой точке первого прибора не должна превышать 0,5 В, а для второго — 2,5 В.

Погрешности измерений подразделяются на систематические и случайные.

Систематическая погрешность характеризуется повторяемостью при измерениях, так как известен характер ее зависимости от измеряемой величины. Систематические погрешности делятся на постоянные и временные. К постоянным системати-

ческим погрешностям относятся погрешности градуировок приборов, балансировки подвижных частей и т. д. К временным погрешностям относятся погрешности, связанные с изменением условий применения приборов, колебаниями напряжения питания и т. д.

Вариация показаний СЭТ относится к систематическим погрешностям, она характеризует разницу показаний прибора при повторных измерениях действительного значения постоянной величины при изменении направления измерений.

$A = [(x_{\text{пр}} - x_{\text{обр}}) / (x_{\text{max}} - x_{\text{min}})] \cdot 100\%$, где A — вариация измерений, $x_{\text{пр}}$ — значение измеряемой величины, измеренной прибором в прямом направлении, $x_{\text{обр}}$ — значение измеряемой величины, измеренной прибором в обратном направлении.

Случайная погрешность — погрешность измерения, изменяющаяся по неспределенному закону при многократных измерениях какой-либо постоянной величины. Такие погрешности обуславливаются целым рядом причин, а количественная оценка их может быть произведена с помощью (законов) теории вероятности.

В технике измерений, а также при ремонте и поверках измерительных приборов используют образцовые приборы, имеющие повышенный класс точности — 0,02; 0,05; 0,1; 0,2, вследствие чего определяют истинное значение измеряемой величины.

Методом сличений показаний образцового и ремонтируемого (или поверяемого) приборов производится определение погрешностей измерений и класса точности прибора.

§ 2. Классификация приборов

Электроизмерительные приборы используют для измерения параметров электрических цепей — сопротивления, емкости, индуктивности, напряжения, тока и т. д.

По принципу действия электроизмерительные приборы классифицируются на следующие основные системы: магнитоэлектрические, электромагнитные, электродинамические, электростатические, ферродинамические.

Наибольшее распространение получили две первые системы. Средства электроизмерительной техники (СЭТ) классифицируются: по роду измеряемого тока (постоянный, переменный); по виду измеряемого параметра (ток, напряжение и т. д.); по способу представления результатов измерения (аналоговая или цифровая).

По назначению электроизмерительные средства подразделяют на приборы промышленного применения, приборы, входящие в сложные информационные системы и лабораторные приборы.

Отечественная промышленность выпускает целый ряд комбинированных приборов, позволяющих измерять несколько параметров электрических цепей.

Кроме того, приборы подразделяют на показывающие, регистрирующие (самопишущие) и суммирующие (счетчики, интеграторы).

В показывающих приборах отсчет значения измеряемой величины производится по положению стрелки относительно шкалы прибора.

Самопишущие приборы обеспечивают как непрерывную автоматическую запись измеряемой величины на диаграмме, так и непосредственный отсчет показаний по измерительной стрелке.

Суммирующие (интегрирующие) приборы обеспечивают суммирование (обсчет) показаний за определенный требуемый период работы; ряд таких приборов имеют как показывающий, так и самопишущий узлы.

§ 3. Приборы для измерения тока и напряжения

Приборы магнитоэлектрической системы применяют в цепях постоянного тока для измерения тока и напряжения; они имеют целый ряд достоинств: высокую чувствительность и точность, равномерность шкалы и малое потребление мощности.

Прибор магнитоэлектрической системы с внутрирамочным магнитом (рис. 27) имеет постоянный магнит 1 и кольцевой магнитопровод 2, изготовленный из магнитомягкой стали.

В силу неравномерного магнитного потока постоянного магнита на различных участках воздушного зазора создавалось бы неравномерное магнитное поле. Для устранения этого недостатка устанавливают магнитомягкие стальные накладки 3, позволяющие создать равномерное радиальное магнитное поле.

В воздушном зазоре между магнитом 1 с накладками 3 и магнитопроводом 2 находится подвижная катушка 4, выполненная в виде рамки из изолированного медного провода. Рамку закрепляют на подшипниках и она свободно вращается относительно своей оси. Спиральная пружина, связанная с осью прибора, при повороте рамки создает противодействующий момент.

При включении прибора в электрическую цепь в рамке возникает электрический ток. Взаимодействие тока в рамке с магнитным полем постоянного магнита приводит к созданию вращающего момента рамки, пропорционального току $M_{\text{рв}} = K_1 I$, где $M_{\text{рв}}$ — вращающий момент, I — ток в рамке, K_1 — коэффициент пропорциональности, зависящий от размеров рамки, числа витков, величины магнитной индукции в воздушном зазоре между наконечниками постоянного магнита и сердечником и системы единиц измерения.

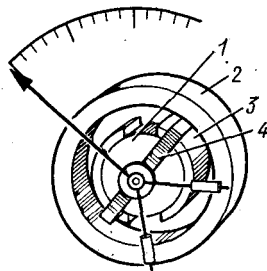


Рис. 27. Прибор магнитоэлектрической системы

Под действием вращающего момента рамка поворачивается, спиральные пружинки начинают закручиваться и создавать противодействующий момент $M_{пр} = K_2 \alpha$, где K_2 — коэффициент, зависящий от упругих свойств пружины, α — угол закручивания пружины (угол поворота рамки). При равенстве вращающего и противодействующих моментов, действующих на рамку, наступает ее равновесие $M_{вр} = M_{пр}$, т. е. $K_1 I = K_2 \alpha$, откуда угол поворота рамки α со стрелкой равняется $\alpha = (K_1/K_2) I = KI$.

Из последнего уравнения следует, что угол поворота стрелки магнитоэлектрического прибора прямо пропорционален величине тока, проходящего через рамку, а шкала прибора является равномерной.

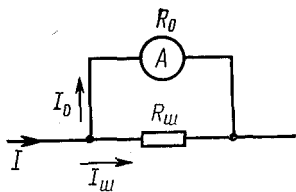


Рис. 28. Схема включения амперметра с шунтом

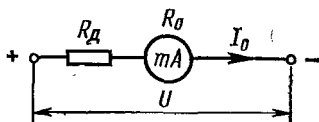


Рис. 29. Электрическая схема вольтметра

Приборы данной системы строго полярные и для правильного включения в электрическую цепь клеммы прибора имеют маркировку «+» и «—».

Измерение постоянного тока. Приборы для измерений тока называются амперметрами. В электрическую цепь амперметр включают последовательно, причем сопротивление прибора должно быть во много раз меньше сопротивления электрической цепи.

Для измерения токов, превышающих предельный ток прибора, используются шунты. Шунт представляет собой сопротивление $R_{ш}$, включенное параллельно измерительному прибору. В некоторых случаях для удобства измерений малых и больших токов прибор имеет несколько шунтов. Чем меньше сопротивление шунта по сравнению с внутренним сопротивлением амперметра, тем меньший ток проходит через прибор.

Так как в параллельно включенных электрических цепях падения напряжений равны между собой, то для шунта и амперметра (рис. 28) можно записать следующее равенство $I_0 R_0 = I_{ш} R_{ш}$, откуда $R_{ш} = I_0 R_0 / I_{ш}$.

В силу закона Кирхгофа полный ток I в цепи равен $I = I_0 + I_{ш}$, тогда, подставляя значение тока I , определим сопротивление шунта $R_{ш} = I_0 R_0 / (I - I_0)$, где I_0 — ток полного отклонения амперметра, R_0 — внутреннее сопротивление амперметра, I — измеряемый ток в цепи.

Измерение постоянного напряжения. Прибор для измерения напряжения называется вольтметром. Вольтметр для измерения постоянного напряжения состоит из стрелочного прибора магни-

то электрической системы, последовательно с которым включено добавочное сопротивление (рис. 29).

Добавочное сопротивление подбирается так, чтобы при предельном значении измеряемого напряжения стрелка прибора имела предельное отклонение. Величина добавочного сопротивления R_d определяется по формуле: $R_d = (U_k/I_0) - R_0$, где U_k — предельное значение измеряемого напряжения, I_0 — ток полного отклонения прибора, R_0 — внутреннее сопротивление прибора.

При измерении напряжения вольтметр подключается параллельно измеряемому участку электрической цепи.

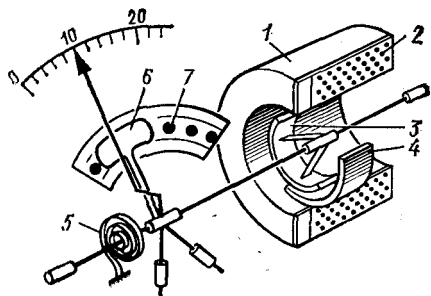


Рис. 30. Измерительный механизм электромагнитной системы

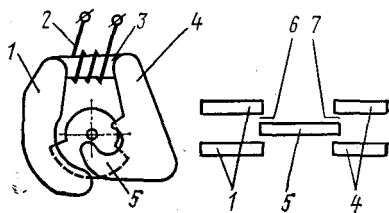


Рис. 31. Конструкция универсального измерительного механизма

Приборы электромагнитной системы широко применяются в цепях постоянного и переменного тока. Преимуществами приборов электромагнитной системы являются простота конструкции, надежность и устойчивость к перегрузкам.

Измерительный механизм электромагнитной системы с круглой катушкой показан на рис. 30.

Внутри катушки 2 с экраном 1 установлены два ферромагнитных секторных сердечника: подвижный 3, укрепленный на оси, и неподвижный 4.

При протекании по катушке 2 измеряемого тока сердечники 3, 4 намагничиваются одновременно и поэтому отталкиваются друг от друга. Вследствие этого создается вращающий момент и указательная стрелка прибора отклоняется на определенный угол.

Противодействующий момент создается пружиной 5. Магнитоиндуктивный успокоитель прибора имеет подвижный алюминиевый сектор 6 и постоянные магниты 7.

Одновременно с измерительной стрелкой прибора при перемещении сектора 6 в нем индуктируются вихревые токи. В результате взаимодействия этих токов с магнитным полем постоянных магнитов 7 создается сила, тормозящая движение сектора 6.

Щитовые показывающие приборы за последнее время претерпели ряд существенных изменений. Улучшение чувствительности, точности и срока службы произошли в результате разработки принципиально новой магнитной системы, пере-

хода от керновых опор подвижных частей на крепление с помощью растяжек и внедрения новой конструкции жидкостного успокоителя. Например, унифицированный измерительный механизм (УИМ) имеет в 50 раз большую чувствительность по сравнению с другими типами приборов при одних и тех же габаритах.

Конструкция УИМ показана на рис. 31. Катушка 2 установлена на неподвижном магнитопроводе 3, на концах которого имеются две пары полюсных пластин 1 и 4. Пластины попарно образуют зазоры 6 и 7, в которых находится подвижный сердечник 5.

Разработка и освоение промышленностью практически не высыхающих кремнийорганических жидкостей позволили внедрить

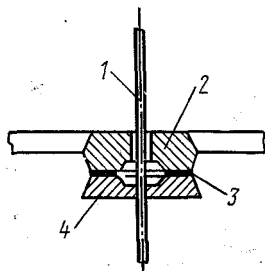


Рис. 32. Конструкция жидкостного успокоителя

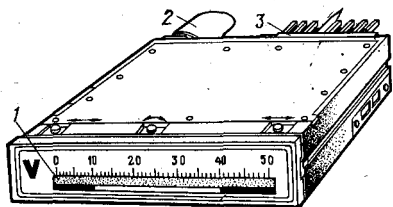


Рис. 33. Общий вид узкопрофильного прибора серии АСК:

1 — шкала, 2 — осветитель, 3 — разъем

вместо воздушных и индукционных успокоителей новую конструкцию успокоителя для электроизмерительных приборов.

На рис. 32 показана конструкция жидкостного успокоителя, в котором на оси 1 измерительного механизма закреплена подвижная втулка 4 успокоителя. При повороте стрелки втулка 4 поворачивается относительно неподвижной втулки 2. Движение подвижной втулки 4 демпфируется кремнийорганической жидкостью 3.

Некоторые виды производств требуют многих десятков щитовых показывающих приборов, однако такое число приборов на щите затрудняет работу оператора (щиты и пульты управления становятся громоздкими). За последнее время освоена серия узкопрофильных аналоговых сигнализирующих контрольных приборов (серии АСК), которая позволила усовершенствовать контроль за работой сложных технологических объектов. К таким приборам относятся приборы постоянного тока М-1530, М-1731, М-1830 и приборы переменного тока Э-389, Э-390, Э-391.

Узкопрофильные приборы (рис. 33) в 3—5 раз меньше, чем обычные щитовые приборы.

Серия приборов АСК включает в себя приборы постоянного и переменного токов, блоки сигнализации и регулирования.

Сигнализирующие приборы имеют два цветных светофильтра. При выходе измеряемой величины за установленный предел световой указатель меняет свой цвет. Подключение прибора к блоку сигнализации и регулирования осуществляется с помощью задне-

го разъема. Для питания электроконтактного устройства прибора используется напряжение постоянного тока величиной 12 В.

С техническим прогрессом непрерывно расширяется область применения быстродействующих самопишущих приборов (БСП), применяемых для регистрации быстропротекающих электрических процессов. БСП представляет сложное техническое устройство, включающее ряд функциональных блоков, среди которых основными являются: собственно измеритель, усилитель и регистрирующее устройство. В качестве измерителя в БСП используются измерительные механизмы магнитоэлектрической и электромагнитной систем, имеющих особую конструкцию.

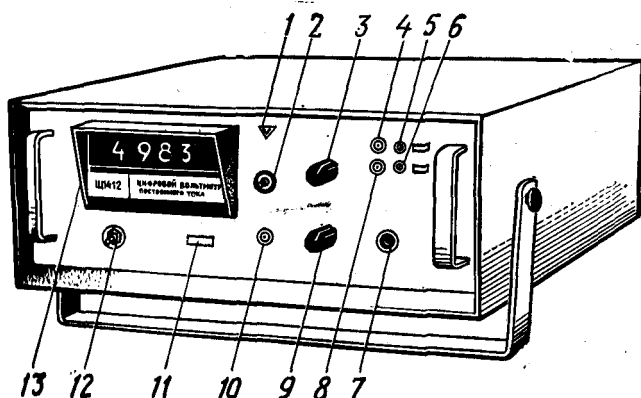


Рис. 34. Цифровой вольтметр Щ-1412:

1 — тумблерный выключатель, 2 — кнопка «Пуск», 3 — переключатель поддиапазонов, 4 — кнопка «Калибровка», 5 — регулятор калибровки «XXX», 6 — регулятор калибровки «98 ...», 7 — кнопка «Ноль», 8 — кнопка «Калибровка» «98 ...», 9 — переключатель фильтра, 10 — сигнальная лампа «Термостат», 11 — переключатель «Периодические — разовые», 12 — тумблер «Сеть», 13 — на-
личник

Цифровые приборы являются приборами повышенной точности, быстродействия и чувствительности. В электрических схемах цифровых приборов используют довольно сложные сравняющие устройства на интегральных схемах.

Цифровой переносной вольтметр Щ-1412 (рис. 34) позволяет измерять напряжение постоянного тока от 0 до 500 В в четырех поддиапазонах 1, 10, 100 и 500 В.

Цифровое табло в таких приборах выполняется на газоразрядных индикаторах типа ИН (рис. 35). Газоразрядный индикатор состоит из общего анода, металлической сетки и десяти катодов и нити цифр от 0 до 9 из нихромовой проволоки. Корпус лампы выполняется неоном, поэтому при появлении напряжения порядка 200 В между анодом и любым катодом (цифрой) цифра высвечивается.

Электростатические и ферродинамические приборы используют в основном для измерения активной и реактивной мощности, а также частоты переменного электрического тока.

Приборы электростатической системы применяют для измерения напряжения в цепях постоянного и переменного тока.

Основными типами таких приборов являются: электростатический вольтметр типа С-100 и электростатический вольтметр типа С-95, которые используют для измерения напряжения в цепях постоянного и переменного тока и тока высокой частоты в пределах 30—3000 В.

Электростатические приборы работают на принципе использования непосредственного действия измеряемого напряжения, приложенного к подвижным и неподвижным пластинам конденсатора — измерительного механизма.

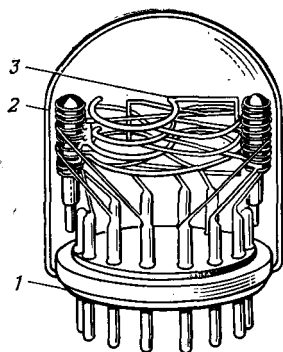


Рис. 35. Газоразрядный индикатор типа ИН:

1 — панель, 2 — корпус, 3 — цифровой катод

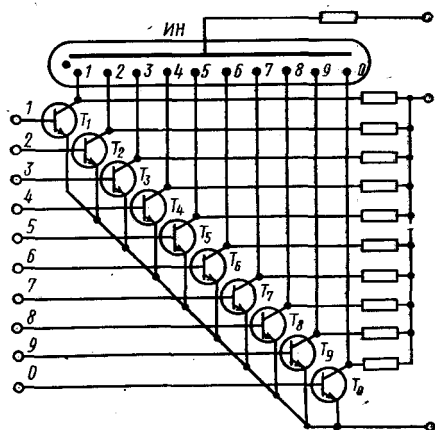


Рис. 36. Схема включения индикатора типа ИН:

ИН — газоразрядный индикатор, T_1 — T_9 — управляющие триоды

Электростатическое взаимодействие (отталкивание подвижных пластин от неподвижных) пропорционально произведению их зарядов, в свою очередь величина заряда пропорциональна приложенному напряжению. Отсюда вращающий момент $M_{вр}$ прибора пропорционален квадрату измеряемого напряжения U^2 и зависит от изменения емкости ΔC при изменении угла поворота $\Delta \alpha$ измерительного механизма: $M_{вр} = U^2 (\Delta C / \Delta \alpha)$.

Ферродинамические ваттметры и варметры типов Д-35, Д-350, Д-335 применяют для измерения активной и реактивной мощности. Ферродинамический частотомер типов 4Ф4, 4Ф9, Д-146 используют для определения частоты переменного тока.

На рис. 36 показана схема включения одного газоразрядного индикатора типа ИН. При подаче на один из входов (0—9) управляющего напряжения открывается транзистор данной цепи и высвечивается требуемая цифра в цифровом индикаторе. Если управляющий сигнал на вход подается не в десятичном коде, то в приборах используют дешифратор-преобразователь кода, преобразующий поступающий сигнал в десятичный код.

§ 4. Приборы для измерения сопротивления и емкости

Приборы для измерения электрического сопротивления называются омметрами. Наиболее точным методом измерения сопротивления в пределах до 100 кОм является мостовой метод.

На рис. 37 показана схема моста постоянного тока. Сопротивления R_1 , R_2 , R_3 и неизвестное (определяемое) сопротивление R_x составляют плечи моста. В одну из диагоналей ($a-b$) включен магнитоэлектрический измерительный прибор I высокой чувствительности, в другую диагональ ($c-d$) — источник постоянного напряжения. Если мост сбалансирован, то ток в индикаторе отсутствует. В уравновешенном мосте произведения сопротивлений противоположных плеч равны между собой: $R_1 R_3 = R_2 R_x$, откуда неизвестное сопротивление $R_x = R_1 R_3 / R_2$.

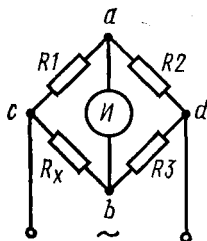


Рис. 37. Схема моста постоянного тока:

I — измерительный прибор, R_x — неизвестное сопротивление, R_1 , R_2 , R_3 — сопротивления моста

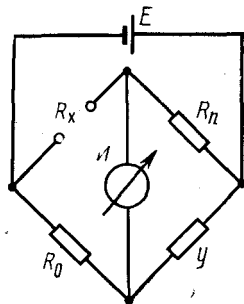


Рис. 38. Измерительная схема цифрового омметра Р-380

В качестве индикаторов обычно используют стрелочные гальванометры, обладающие высокой чувствительностью.

В мостовых схемах для определения неизвестного сопротивления изменением известных сопротивлений R_1 ; R_2 ; R_3 добиваются отсутствия тока в гальванометре, а затем по формуле вычисляют сопротивление R_x .

Обычно равновесие мостовой схемы достигается двумя способами: изменением сопротивления R_1 при постоянном отношении R_3/R_2 ; изменением отношения сопротивлений R_3/R_2 при постоянном значении сопротивления R_1 .

Наиболее совершенным типом моста является одинарно-двойной мост Р-39, предназначенный для точных измерений сопротивлений в широком диапазоне от 10^{-8} до $1,111111 \cdot 10^8$ Ом. Особенностью данного моста является использование в схеме образцовой меры отношений (ОМО), позволяющей производить подстройку плеч моста и ОМО так, что погрешность от нестабильности сопротивлений и изменений температуры становится практически ничтожной. Вследствие этого прибор работает с минимальной погрешностью.

Прибор имеет нуль-индикатор, декадные переключатели сопротивлений, переключатель ОМО, переключатель рода работы, кнопки регулировки чувствительности нуль-индикатора и зажимы для подключения измеряемого сопротивления.

Для измерения сопротивления в широком диапазоне применяют также цифровые омметры Р-380, Р-382 и Р-383.

Омметр Р-380 предназначен для измерения сопротивления постоянному току от 0,001 Ом до 9,9999 МОм. Результат измерения выдается на отсчетное устройство прибора, выполненное на газоразрядных цифровых индикаторах ИН-4, и выражается в виде пяти цифр и десятичной запятой. Прибор выдает индикацию пределов измерений Ом, кОм, МОм.

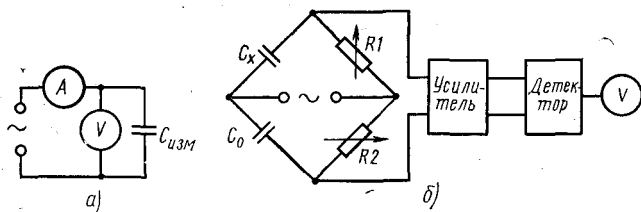


Рис. 39. Измерение емкости

Принцип работы цифрового омметра Р-380 (рис. 38) заключается в определении неизвестного сопротивления R_x в одинарном мосте, при равновесии которого сопротивление его плеч выражается уравнением: $R_x = R_0 R_n y$, где y — магазин проводимостей ($y = 1/R$).

Сопротивление R_0 изменяется с переключением переключателя предела измерения. Необходимое значение сопротивления R_n выбирается автоматически. Автоматически изменяется и проводимость y до тех пор, пока не восстановится равновесие моста по нуль-органу И. Результат измерения высвечивается на цифровом табло.

Приборы для измерения емкости называют фарадметрами. При необходимости емкость может быть измерена методом вольтметра-амперметра (рис. 39, а), когда последовательно с неизвестной емкостью включается амперметр, а параллельно — вольтметр.

Емкость конденсатора определяется из соотношения: $C_x = I / 2\pi f U$, где f — частота тока, C_x — емкость конденсатора.

Мостовой метод измерения емкости (рис. 39, б) заключается в сравнении неизвестной емкости C_x с образцовой емкостью C_0 по отношению к плечам сравнения $R1$ и $R2$. В уравновешенном мосте выполняется равенство: $C_x = C_0 R2 / R1$.

Обычно в качестве нулевого индикатора применяют электронный вольтметр высокой чувствительности.

В качестве образцовой емкости используют высококачественный керамический или слюдяной конденсатор со строго постоянной емкостью.

При подключении неизвестной емкости C_x изменением отношения сопротивлений R_2/R_1 добиваются нулевых показаний индикатора, а затем по формуле определяют значение неизвестной емкости C_x .

§ 5. Комбинированные приборы

Для измерения целого ряда электрических параметров при монтаже, наладке, эксплуатации и ремонте современных автоматических приборов и регуляторов применяют комбинированные приборы.

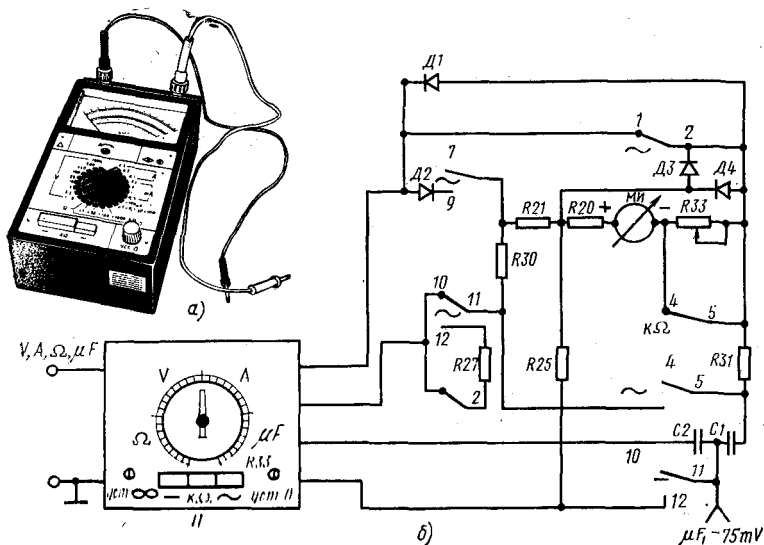


Рис. 40. Тестер Ц-4315:

а — общий вид прибора, б — электрическая схема

Наиболее распространенными приборами являются тестеры, ламповые вольтметры и цифровые многопредельные ампервольт-омметры.

Тестер Ц-4315 (рис. 40,а) — комбинированный прибор для измерения тока и напряжения в цепях постоянного и переменного тока, сопротивления постоянному току и емкости. В приборе имеется измерительный механизм магнитоэлектрической системы на растяжках с внутрирамочным магнитом. Для возможности измерения переменного тока и напряжения в приборе (рис. 40,б) установлен двухполупериодный выпрямитель на диодах $D1—D4$. Шунты и добавочные сопротивления служат для расширения пределов измерения по току и напряжению. Переключателем рода работ Π можно выбирать режим измерения. При измерении сопротивления и емкости включается схема магнитоэлектрического омметра или выпрямительного микрофарадметра.

Для измерения постоянного тока или напряжения требуется установить переключатель Π в положение «—», а при измерении переменного тока и напряжения — в положение « $\sim$ ».

Переключатель пределов измерения необходимо установить в положение, определяемое ориентировочным значением измеряемого параметра. Прибор включается в измерительную цепь специальными щупами. Для измерения больших величин сопротивлений требуется:

установить переключатель рода Π работ в положение «к Ω »; соединить щупы, подключенные к клеммам прибора, между собой и вращением потенциометра R_{33} (ручки установки нуля прибора), установить стрелку измерительного механизма $МИ$ на нулевую отметку шкалы «к Ω »;

после установки «0» щупы требуется разомкнуть, а затем можно измерять неизвестное сопротивление по шкале «к Ω ».

Для измерений сопротивлений до величины 300 Ом требуется: нажать кнопку «—» и перевести переключатель рода работы в положение « Ω »;

при разомкнутых щупах с помощью «уст. 0» вывести стрелку прибора на « ∞ » по шкале « Ω »;

произвести измерение неизвестного сопротивления по шкале « Ω ».

Ламповый вольтметр ВК7-9 (рис. 41) используется для изме-

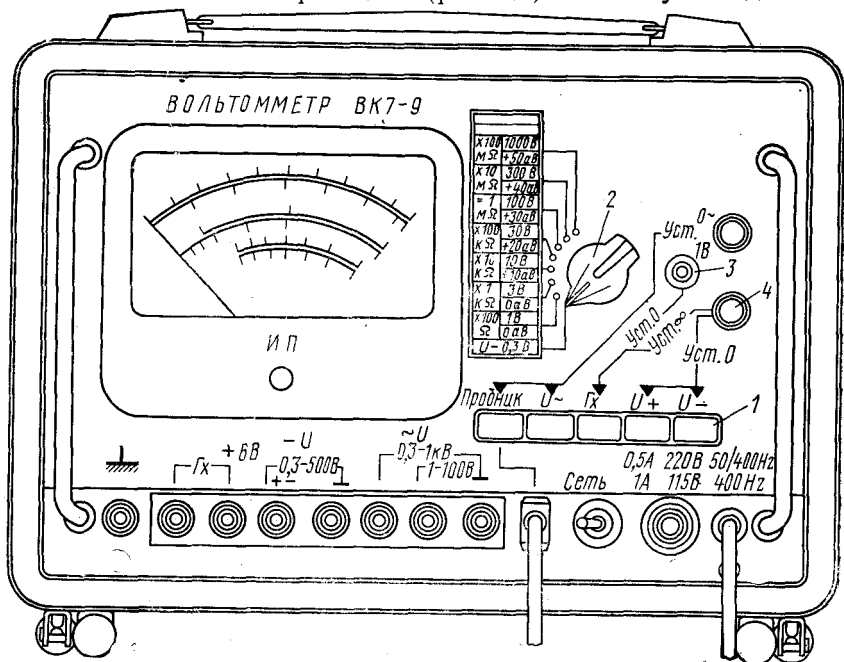


Рис. 41. Общий вид вольтметра ВК7-9:

ИП — измерительный прибор; 1 — переключатель рода работ, 2 — переключатель пределов измерения, 3 — ручка потенциометра установки «0» при измерении сопротивлений, 4 — ручка потенциометра установки «0» при постоянном и переменном токе

рения постоянного и переменного напряжений и сопротивлений от 10 Ом до 1000 МОм. Предел измерения напряжения постоянного тока от 0,1 до 500 В разбивается на диапазоны — 0,3; 1; 3; 10; 30; 100; 300; 1000 В.

Прибор имеет пределы измерения напряжения переменного тока: 0,3—1000 В и 1—100 В. Преимуществом электронных комбинированных приборов перед тестерами является их большое входное сопротивление в пределах от нескольких мегом до нескольких сотен мегом, что позволяет применять эти приборы при определении неисправностей в радиосхемах для проверки схем электронных и полупроводниковых усилителей.

Измерение напряжения производится после прогрева прибора в течение 15 мин в следующем порядке: переключатель рода работ 1 требуется установить в соответствующее положение $U \sim$ или $U+$, $U-$; переключатель пределов установить на предел измеряемого напряжения; ручкой потенциометра «уст. 0» напряжения установить стрелку прибора на нулевую отметку шкалы « $\simeq U$ ». При этом клеммы $\pm 0,3$ —500 В и ~ 1 —100 В необходимо закоротить; после снятия с указанных клемм закороток прибор подготовлен к измерению.

Измерение сопротивления прибором производится в такой последовательности: требуется нажать клавишу « r_x »; перевести переключатель пределов на необходимый предел измерения сопротивления; ручкой «уст. ∞ » установить стрелку прибора на отметку « ∞ » шкалы « Ω »; закоротить гнезда « r_x » и потенциометром «уст. 0» установить стрелку прибора на 0 шкалы « Ω »; снять закоротку с гнезда « r_x »; с помощью щупов измерить неизвестное сопротивление и по шкале « Ω » произвести отсчет показаний.

Цифровой ампервольтметр Р-387 позволяет сочетать высокую точность и быстродействие, возможность визуальной и автоматической регистрации показаний, а также передачу информации автоматическим системам контроля и управления. Прибор имеет переключатель рода работ для измерения тока, напряжения и сопротивления. Предел измерений: сопротивления 0,1—10 000 кОм; тока 1—1000 мА; напряжения 0,1—1000 В.

Цифровое табло имеет семь ламп ИН-4.

Контрольные вопросы

1. Какую классификацию имеют электроизмерительные приборы?
2. Что такое точность измерительного прибора?
3. Как включаются в электрическую цепь амперметры и вольтметры?
4. Какое преимущество имеет жидкостный успокоитель в электроизмерительных приборах перед другими типами успокоителей?
5. Объясните принцип действия жидкостного успокоителя.
6. В чем заключается мостовой метод измерения сопротивления?
7. Какое преимущество имеют цифровые электроизмерительные приборы?

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

§ 1. Температура. Единицы измерения температуры

Температурой называется физическая величина, характеризующая степень нагретости тела. Температуру определяют косвенным путем с помощью шкалы температуры.

Исходными значениями при построении шкалы температуры и определении единицы измерения — градуса — являются температуры перехода чистых веществ из одного агрегатного состояния в другое.

Используют два типа шкал: шкалу Цельсия и шкалу Кельвина.

Для шкалы Кельвина температура абсолютного нуля соответствует $-273,16^{\circ}\text{C}$. Температура по шкале Кельвина обозначается $T\text{ К}$, при этом между температурой по шкале Кельвина ($T\text{ К}$) и по шкале Цельсия ($t^{\circ}\text{C}$) существует соотношение $T\text{ К} = t^{\circ}\text{C} + 273,16^{\circ}\text{C}$.

В системе СИ единицей измерения температуры является градус Кельвина.

Основными приборами для автоматического измерения температуры объектов являются: термометры расширения, манометрические термометры, термометры сопротивления с логометрами или мостами, термопары с милливольтметрами или потенциометрами, пирометры излучения.

§ 2. Термометры расширения. Манометрические термометры

Термометры расширения жидкостные стеклянные (рис. 42) применяют для измерения температуры от -100 до $+650^{\circ}\text{C}$. Принцип действия термометров расширения основан на объемном расширении жидкости, находящейся внутри стеклянного расширителя, под действием окружающей температуры. Внутри корпуса 1 находится температурная шкала 2. В нижней части термометра находится расширитель 4, который соединен с капилляром 3 (трубкой с малым внутренним диаметром). Верхняя часть капилляра запаяна. При нагревании расширителя жидкость, находящаяся в нем, увеличивается в объеме: $V_t = V_0(1 + \gamma t)$, где V_t — объем жидкости при нагревании на $t^{\circ}\text{C}$, V_0 — объем жидкости при 0°C , γ — коэффициент объемного расширения, t — разность температур, $^{\circ}\text{C}$.

Поднимаясь вверх по капилляру, жидкость устанавливается на высоте, пропорциональной температуре нагрева. Отсчет ведется по шкале в градусах Цельсия. В качестве рабочей жидкости в стеклянных термометрах используют ртуть, спирт, керосин или толуол. Ртуть является лучшей рабочей жидкостью, так как она не обладает свойством смачиваемости, поэтому в стеклянном капилляре не образует вогнутого мениска, что облегчит снятие показаний с термометра.

В зависимости от формы нижней части термометры подразделяют на прямые — типа А и угловые типа Б с углом 90 или 135°. Для предохранения стеклянной оболочки термометра от повреждений и для удобства монтажа приборы помещают в защитную металлическую оправу.

Стеклянные термометры выпускают двух видов: технические и лабораторные. Погрешность технических термометров не превышает одного деления шкалы, погрешность лабораторных — в зависимости от пределов измерений от $\pm 0,2$ до $\pm 5^\circ\text{C}$.

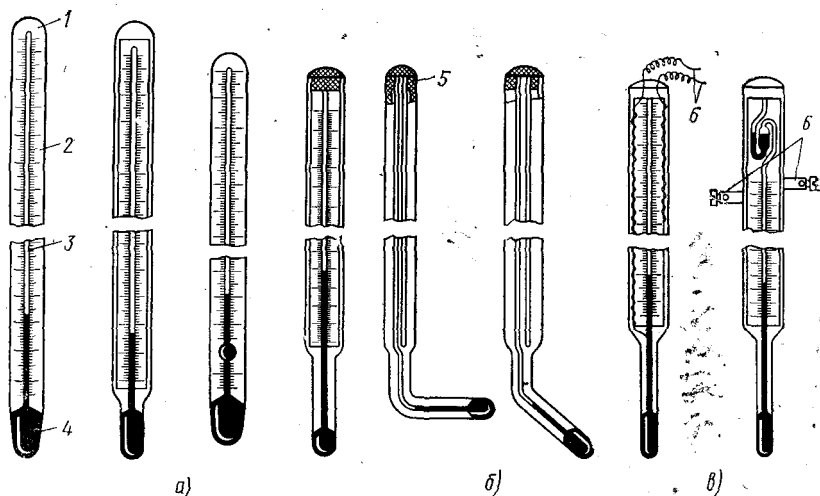


Рис. 42. Ртутные стеклянные термометры:

а — прямые типа А, б — угловые типа Б, в — контактные; 1 — корпус, 2 — температурная шкала, 3 — капилляр, 4 — расширитель, 5 — заглушка, 6 — контакты

Ввиду целого ряда недостатков стеклянных термометров — сравнительно большой тепловой инерционности, отсутствия дистанционной передачи и автоматической записи показаний — эти приборы используют в лабораторных исследованиях и местном технологическом контроле.

Цена деления шкалы прибора зависит от внутреннего диаметра капилляра и типа рабочей жидкости. Наименьшая цена деления шкалы лабораторного термометра типа ТЛ $0,01^\circ\text{C}$.

Термометры градуируют двумя способами: при полном погружении самого термометра до отметки максимальной температуры, нанесенной на шкале; при частичном погружении в измеряемую среду (при данном способе на обратной стороне термометра указывается глубина погружения).

В практических измерениях температур на технологических объектах глубина погружения термометров отличается от условий градуировки. Поэтому необходимо вводить в показания прибора соответствующую поправку на непогруженную часть капилляра, т. е. поправку на «выступающий столбик» охлаждаемой наружной окружающей атмосферой.

Абсолютное значение поправки определяется формулой $\Delta t = 16 \cdot 10^{-4} K h (t - t_1)$, где K — коэффициент, зависящий от типа рабочей жидкости и материала стекла, h — длина выступающего столбика, выраженная в °С шкалы прибора, t — показания термометра, °С, t_1 — средняя температура окружающей среды, °С.

Значения коэффициента K для определения поправки температуры

Тип стекла термометра	Термометрическое (ГОСТ 1224—71)	Тип 59 III	Тип 600	Тип 700
Тип рабочей жидкости:				
ртуть	1	1,035	1,09	1,095
спирт	6,5	—	—	—
толуол	7,5	—	—	—
керосин	5,6	—	—	—

Защитные оправы для термометров выпускают трех типов А, Б и В. Оправу типа А используют при незначительных давлениях, близких к атмосферному; типа Б — при давлениях измеряемой среды до 6,4 МПа (64 кгс/см²); типа В — при давлении до 32 МПа (320 кгс/см²).

Манометрические термометры используют для измерения температур жидких и газовых сред в диапазоне от —100 до +600 °С при рабочих давлениях измеряемой среды до 6,4 МПа (64 кгс/см²) без защитной гильзы термобаллона и до 25 МПа (250 кгс/см²) с защитной гильзой.

Принцип действия приборов основан на использовании зависимости изменения давления рабочей жидкости, насыщенного пара или газа при постоянном объеме от температуры объекта.

Обязательным условием достоверности показаний манометрических термометров является полное погружение термобаллона в измеряемую среду.

В зависимости от наполнителя, заполняющего всю термосистему (термобаллон, капилляр и чувствительный элемент), манометрические термометры делятся на газовые, парожидкостные и жидкостные.

Газовые приборы заполняют инертным газом — азотом или аргонном, парожидкостные — низкокипящими жидкостями (ацетон, фреон), пары которых при измеряемой температуре частично заполняют термобаллон, жидкостные — кремнийорганической жидкостью.

Шкала манометрических газовых и жидкостных термометров равномерная; у парожидкостных термометров шкала неравномерная — сжатия в первой трети шкалы.

Манометрический термометр ТПГ-СК (рис. 43) имеет герметично соединенные между собой термобаллон 1, капилляр 2 и манометрическую пружину 4 измерительного механизма. Термобаллон как датчик устанавливают на контролируемом объекте, а его измерительный механизм (прибор) можно устанавливать в щитах и пультах. В зависимости от типов прибора длина капил-

тира составляет от 16 до 25 м. При изменении температуры контролируемого объекта изменяется объем рабочего вещества в замкнутом контуре, что приводит к изменению давления в этой системе. Давление преобразуется манометрической пружиной 4 в перемещение указательной стрелки 8 прибора.

По шкале прибора (по указательной стрелке) определяют температуру объекта. Для защиты капилляра от механических повреждений в приборе предусмотрена специальная оплетка из стальной или медной ленты.

Термобаллон изготавливают из латуни или стали, манометрическую трубку — из латуни, капиллярную трубку — из стали или меди, внутренний диаметр которой 0,2—0,5 мм.

Данные приборы имеют записывание показаний в пределах 40—80 с.

Основная погрешность газовых приборов составляет $\pm 1,5\%$, паровых $\pm 2,5\%$. К наиболее распространенным приборам данного типа относятся: электроконтактные термометры ЭКТ и ТПГ-СК (рис. 44), которые снабжены электроконтактными у-

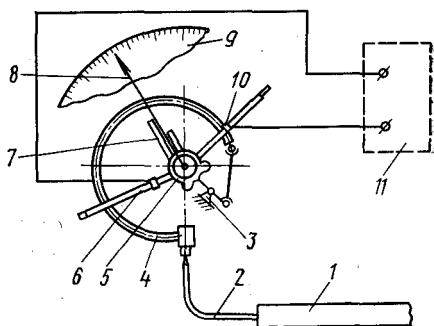


Рис. 43. Схема манометрического термометра ТПГ-СК:

1 — термобаллон, 2 — капилляр, 3 — сектор, 4 — манометрическая пружина, 5 — трибка, 6, 10 — установочные контакты, 7 — поводок, 8 — стрелка, 9 — шкала, 11 — клеммник

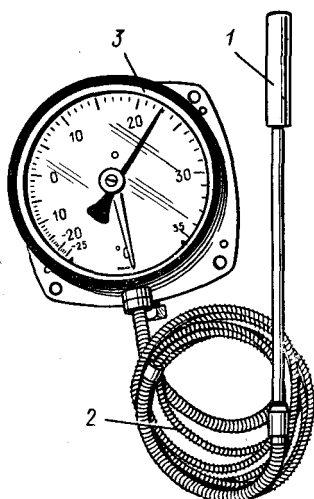


Рис. 44. Термометр ТПГ-СК:

1 — термобаллон, 2 — капилляр, 3 — показывающий прибор

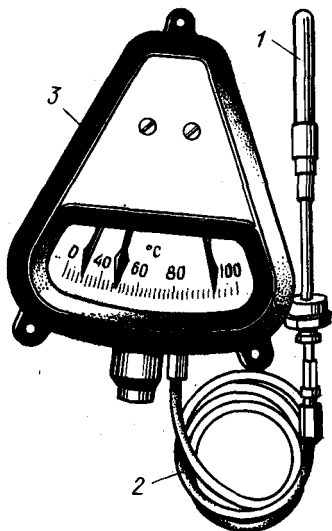


Рис. 45. Термометр ТС-100:

1 — термобаллон, 2 — капилляр, 3 — показывающий прибор

ройствами для сигнализации или автоматического управления по минимальному и максимальному значению температуры; термометрический сигнализатор ТС-100 (рис. 45) — для измерения и сигнализации температуры; манометрический термометр типа ТСГ — для измерения и автоматической записи температуры.

Преимущества данных приборов — малая стоимость, простота монтажа; недостатки — инерционность, сложность ремонта термосистемы, ограниченное рабочее давление измеряемой среды до 6,4 МПа (64 кгс/см²).

§ 3. Назначение, устройство термоэлектрических термометров и термометров сопротивления

Для автоматического контроля и управления температурными режимами технологических процессов и дистанционной передачи показаний в качестве датчиков применяют термометры сопротивления и термопары. Такие датчики не являются самостоятельными приборами, а работают только со специальной группой измерительных приборов.

Термопара (термоэлектрический термометр) представляет собой спай двух разнородных металлических проводников (термоэлектродов), которые предназначены для измерения температуры рабочих объектов. Конец термопары, помещаемый в объект измерения температуры, называется рабочим или «горячим» спаем, свободные или «холодные» концы термопары соединены с измерительным прибором. Термопарой осуществляется преобразование тепловой энергии в электрическую.

Принцип работы термопары заключается в том, что при изменении температуры «горячего» спае на свободных («холодных») концах термопары изменяется термоэлектродвижущая сила (термо-э. д. с.) постоянного тока.

Согласно явлению Зеебека, в замкнутой электрической цепи, образованной двумя разнородными проводниками, возникает термо-э. д. с., пропорциональная разности температур спаев. Величина термо-э. д. с. зависит только от температуры «горячего» и «холодного» спаев и материалов, образующих термопару.

Образование термо-э. д. с. в термопаре объясняется тем, что при нагревании электроны на «горячем» спае приобретают более высокие скорости, чем на «холодном», в результате возникает поток электронов от «горячего» конца к «холодному». На «холодном» конце накапливается отрицательный заряд, на «горячем» — положительный. Разность этих потенциалов определяет термо-э. д. с. термопары.

На рис. 46 изображена цепь, состоящая из двух разнородных проводников А и В, нижние концы которых спаяны между собой. Нижние и верхние концы термопары находятся при различной температуре.

Если температура t_1 «горячего» спае выше температуры t_2 «холодного» спае, то ток потечет в направлении, указанном

на рис. 46, а термо-э. д. с., развиваемая термопарой, определяется разностью потенциалов спаев:

$$E_{AB} = E_{AB(t_1)} - E_{AB(t_2)}.$$

Непосредственно проводники самих термопар называются термоэлектродами.

Для ряда пар проводников, используемых для термоэлектрических термометров, существует определенная зависимость термо-

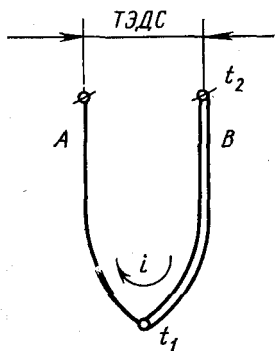


Рис. 46. Цепь термопары

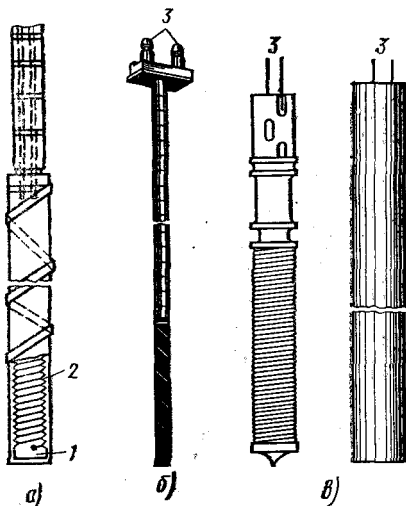


Рис. 47. Термометры сопротивления:

а, б — платиновый, в — медный; 1 — изоляционный каркас, 2 — обмотка, 3 — выводы

э. д. с. (ТЭДС) от разности температур «горячего» и «холодного» спаев, а сама ТЭДС измеряется милливольтметром или потенциометром постоянного тока, включенными в разрыв «холодного» спаев.

Для технических измерений применяют термопары: хромель — копель (ТХК); хромель — алюмель (ТХА), платинородий (10% родия) — платина (ТПП). Реже используют термопары медь — копель, медь — константан, железо — копель.

Обозначение ХА, ХК, ПП называется градуировкой термопары; положительным электродом является электрод, материал которого в градуировке стоит первым. Термопары данных градуировок перекрывают диапазон измерения температур от -50 до $+1800^\circ\text{C}$.

Характеристики основных типов термоэлектрических термометров даны в табл. 2.

По устойчивости к механическим воздействиям термопары подразделяют на вибротряскоустойчивые, ударопрочные и обыкновенные; по инерционности — малоинерционные (0—1,5 мин),

среднеинерционные (1,5—2,5 мин) высокоинерционные (2,5—8 мин).

Термометры сопротивления применяются как датчики для измерения температуры. По материалу чувствительного элемента их подразделяют на термометры сопротивления платиновые—ТСП и термометры сопротивления медные—ТСМ.

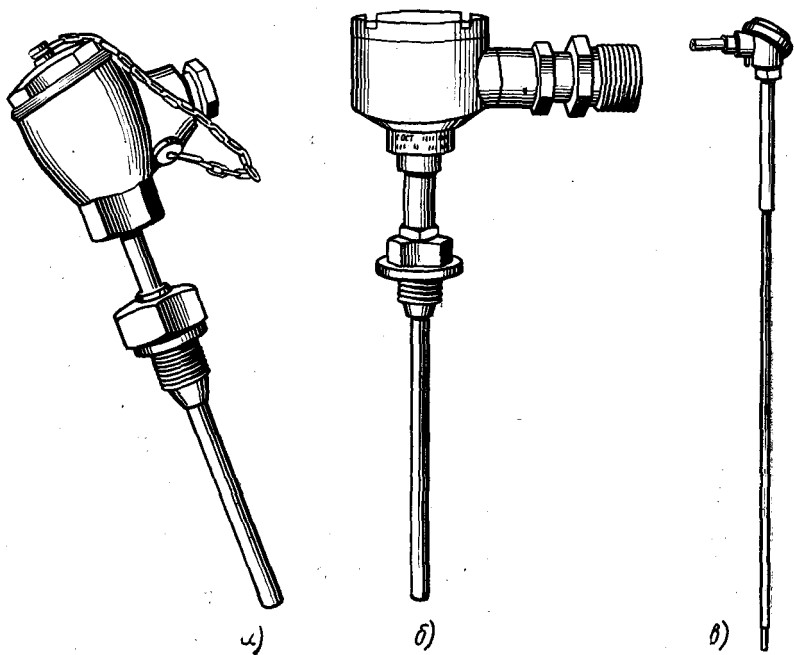


Рис. 48. Общий вид датчиков — термометров сопротивления:
а — ТСП-175, б — ТСП-972, в — ТСП-0063

Конструктивно термометр сопротивления (рис. 47) выполняется намоткой платиновой или медной изолированной проволоки 2 на изоляционный каркас 1. Для защиты от механических повреждений и удобства монтажа термометры сопротивления заключают в защитную арматуру различных модификаций (рис. 48).

Термометры сопротивления бывают одинарные и двойные. В двойных термометрах сопротивления встроены два изолированных друг от друга чувствительных элемента, они применяются для одновременного измерения температуры одной точки двумя приборами. Медь как материал имеет в отличие от платины ряд недостатков, она окисляется при высокой температуре и влажности, имеет малое удельное сопротивление.

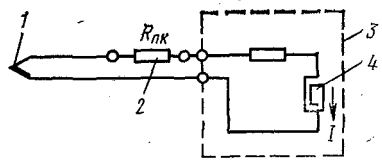


Рис. 49. Схема соединения термопары с милливольтметром:
1 — термопара, 2 — подгоночная катушка, 3 — милливольтметр, 4 — рамка прибора

Медные термометры сопротивления используют при измерениях от -50 до $+180^{\circ}\text{C}$, платиновые от -200 до $+650^{\circ}\text{C}$.

Медные и платиновые термометры выпускают со строго определенными значениями сопротивлений, соответственно своих типов и градуировок. Медные термометры сопротивления имеют градуировки 23, 24; платиновые — 20, 21, 22 (табл. 3).

При 0°C термометры сопротивления гр. 20 имеют сопротивление 10 Ом; гр. 21—46 Ом; гр. 22—100 Ом; гр. 23—53 Ом и гр. 24—100 Ом.

При изменении температуры электрическое сопротивление термометров определяют градуировочными данными и приближенной формулой: $R_t = R_0(1 + \alpha t)$, где R_t — сопротивление термометра при нагревании на $t^{\circ}\text{C}$, R_0 — сопротивление термометра при 0°C , α — температурный коэффициент ($\alpha_{\text{меди}} = 4,3 \cdot 10^{-3}$).

Изменение электрического сопротивления термометров связано с тем, что тепловое колебание кристаллической решетки металла термометра сопротивления (меди, платины) пропорционально температуре: чем выше температура, тем выше колебания решетки и степень подвижности свободных электронов, а следовательно, больше электрическое сопротивление. При очень низких температурах, близких к температуре «абсолютного нуля» (-273°C), тепловые колебания кристаллической решетки и свободных электронов настолько ничтожно малы, что электрическое сопротивление практически равно нулю, т. е. наблюдается явление сверхпроводимости.

Чувствительный элемент медного термометра сопротивления наматывают на цилиндрическую плату медной проволокой диаметром 0,1 мм в несколько слоев. Затем поверхность покрывают глифталевым лаком, а выводы обмотки изолируют фарфоровыми бусами. Плату с обмоткой заключают в тонкостенную металлическую гильзу длиной 105 мм, затем в защитный чехол. Выводы датчика подключают к зажимам специальной платы, установленной в головке защитного чехла.

Чувствительный элемент платинового термометра сопротивления наматывают платиновой проволокой диаметром 0,05—0,07 мм на каркас размером 100×10 мм. В качестве каркаса для намотки используют материалы, обладающие термостойкостью и высокими электроизоляционными свойствами: слюда, кварц, фарфор.

Обмотку с каркасом заключают между двух слюдяных прокладок, затем всю конструкцию собирают в пакет серебряной лентой. Выводы датчика, изготавливаемые из серебряной проволоки, изолируют фарфоровыми бусами.

Чувствительный элемент заключают в тонкостенную алюминиевую трубку, затем в защитный чехол из нержавеющей стали. Выводы датчика подключают к зажимам специальной платы, установленной в головке защитного чехла.

Технические характеристики термометров сопротивления представлены в табл. 4—6.

Основными факторами, влияющими на погрешность измерения температуры технологических объектов, являются: инерционность термодатчиков, неправильная установка термодатчиков, нарушение условий монтажа и эксплуатации приборов.

Инерционностью термодатчиков можно пренебречь при малых скоростях изменения температуры объекта, однако при значительных скоростях изменения температуры объекта инерционность термодатчика необходимо учитывать, так как в данном случае возникает значительная разница в показаниях прибора и истинной температурой объекта.

При использовании термодатчиков для агрессивных сред и высоких давлениях за счет защитных гильз значительно возрастает их тепловая инерционность. Для уменьшения инерционности зазор между датчиком и установочной гильзой по всей длине заполняют средой с большой теплопроводностью. При рабочей температуре от 0 до 200°C используют компрессорное масло типа КС-19, при температуре выше 200° — чугуновые или бронзовые опилки.

Как термометры сопротивления, так и термопары могут использоваться при специальном исполнении в различных тяжелых условиях работы: при высоких вибрациях, больших давлениях и в агрессивных средах. В зависимости от этих условий выбирается соответствующая конструкция арматуры, толщина и материал защитных чехлов.

Термометры сопротивления по точности подразделяют на три класса; по инерционности — малоинерционные (до 9 с), среднеинерционные (10—80 с), высокоинерционные (до 4 мин).

В соответствии с требованиями автоматизации промышленных технологических установок отечественные датчики температур имеют различную монтажную (установочную) длину в интервале 60—3200 мм.

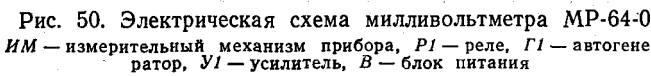
§ 4. Вторичные приборы для измерения температуры

Приборы, с которыми электрически соединяют термоэлектрические термометры (термопары), называются милливольтметрами и потенциометрами. Они предназначены для измерения, записи и регулирования температуры.

Милливольтметр, используемый для измерения температуры, является прибором магнитоэлектрической системы; он имеет равномерную шкалу, высокую точность и чувствительность.

Принцип измерения температуры милливольтметром 3 (рис. 49) заключается в измерении термо-э. д. с., развиваемой термопарой 1. Под действием термо-э. д. с. датчика в цепи возникает электрический ток, который, проходя через рамку прибора 4, создает магнитное поле. Взаимодействие этого поля с полем постоянного магнита образует вращающий момент $M_{вр}$ рамки с указательной стрелкой, пропорциональный термо-э. д. с. Противодействующий момент $M_{пр}$ создается двумя спиральными пружинами, которые

Наиболее распространенные типы милливольтметров — МР1-02—с регулирующим устройством; МР-64-02 и Ш4501 с двухдиапазонным регулирующим устройством.



рическая схема милливольтметра с двухдиапазонным
ющим устройством МР-64-02 показана на рис. 50. Изме-
ий механизм *ИМ* представляет собой прибор магнито-
еской системы с внутрирамочным магнитом и креплен-
жной рамки на опорных кернах и пружинных подпятни-
подключении термопары *ТП* на клеммы прибора 1, 2
мотку рамки проходит постоянный электрический ток.
тате взаимодействия магнитного потока постоянного
с током рамки возникает вращающий момент $M_{вр}$, под
м которого рамка с указательной стрелкой поворачивает-
ол α . При этом вращающий момент $M_{вр}$ будет уравни-
противодействующим моментом пружин $M_{пр}$.

57

тор R_1 , который имеет отрицательный температурный коэффициент. Регулирующая часть прибора состоит из двух элементов: элемент Γ_1 представляет собой высокочастотный автогенератор с индуктивными обмотками $L1, L2, L3$ на ферритовых сердечниках; элемент Y_1 является трехкаскадным усилителем, нагрузкой которого служит обмотка промежуточного реле $P1$, контакты 4, 5, 6 которого используются для автоматической сигнализации или регулирования температуры объекта в заданном режиме. Элемент B — блок питания.

На стрелке измерительного прибора жестко укреплен специальный экран, который при перемещении стрелки входит в зазор между катушками $L1, L2$ автогенератора. На лицевой части прибора имеется утопленный шлиц задатчика для установки заданной температуры регулирования или сигнализации. При перемещении шлица перемещается также и автогенератор, так как они имеют между собой жесткую связь.

Если температура объекта ниже заданной, то специальный экран находится вне катушек $L1$ и $L2$; при этом автогенератор Γ_1 генерирует высокочастотные колебания, которые поступают на вход релейного усилителя Y_1 . Ток на выходе элемента Y_1 достаточен для срабатывания реле $P1$, контакты 4—5 замыкаются и включается сигнализация «температура ниже заданной».

При достижении на объекте заданной температуры стрелка прибора встанет против указателя задатчика, экран входит в зазор между контурными катушками автогенератора $L1$ и $L2$ — генератор перестает генерировать высокочастотные колебания (происходит срыв генерации). Ток на выходе элемента Y_1 становится равным 0, поэтому обмотка реле $P1$ обесточивается, замыкаются его контакты 5—6 «температура выше заданной». Через контакты 5—6 можно включить сигнализацию «заданная температура» или отключить дальнейший подогрев объекта.

Таким образом, посредством включения или выключения генератора прибора при выводе и вводе экрана осуществляется двухпозиционное регулирование по принципу «включено — выключено».

Термопару к милливольтметру (см. рис. 49) подключают только компенсационным проводом, а градуировка прибора должна строго соответствовать градуировке термопары. Подгонку сопротивления линии осуществляют подгоночной катушкой. $R_{\text{пк}}$ в соответствии с внутренним сопротивлением прибора.

Основная погрешность милливольтметров в зависимости от типов приборов составляет ± 1 и $\pm 1,5\%$.

Автоматические потенциометры предназначены для измерения, записи и регулирования температуры или других величин, преобразуемых с помощью датчиков в напряжении постоянного тока. Отличительной особенностью автоматических потенциометров является практическое отсутствие токовой нагрузки в измерительной цепи термопары. Это повышает точность потенциометров по сравнению с милливольтметрами до 0,5—0,25%

за счет отсутствия падения напряжения на сопротивлении линии и уменьшения погрешности.

Работа автоматических потенциометров основана на компенсационном методе измерения э. д. с. Практические измерительные схемы потенциометров намного сложнее и разнообразнее, приведенной на рис. 51, однако она полностью отражает их принцип действия.

Измерительная схема состоит из четырехплечего мостика с сопротивлениями. В диагональ CD включается источник постоянного стабилизированного питания E и сопротивление R_d для

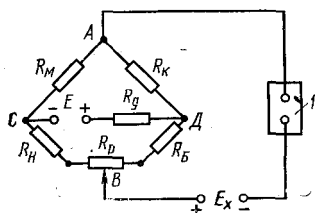


Рис. 51. Мостовая потенциметрическая схема: I — нуль-индикатор; E — источник питания, R_M — термокомпенсационное сопротивление, R_K , R_B — катушки измерительной схемы, R_H — градуировочное сопротивление, R_D — сопротивление расхода, R_d — добавочное сопротивление, R_x — клеммы подключения термопары

получения расчетного тока в диагонали. В диагональ AB включается датчик (термопара) E_x и чувствительный нуль-индикатор I . Э. д. с. датчика включена встречно напряжению схемы в точках A и B .

Принцип измерения неизвестного напряжения E_x термопары заключается в автоматическом отыскании такого положения движка B на реохорде, при котором ток в диагонали AB и индикаторе I будет равен нулю (условия равновесия моста приведены в § 4 гл. III). При этом положении напряжение E_x равно напряжению в точках AB и указательная стрелка прибора, связанная с движком реохорда B , занимает строго определенное положение относительно шкалы прибора.

Отечественная промышленность выпускает целый ряд показывающих, самопишущих и регулирующих потенциометров. Самопишущие потенциометры имеют устройство автоматической записи показаний; запись производится на круглой или ленточной диаграммах. Привод диаграмм осуществляется синхронным двигателем. В зависимости от количества подключаемых к прибору датчиков потенциометры бывают: одноточечные и многоточечные. В одноточечном приборе запись на диаграмме осуществляется пером, в многоточечном — печатающей кареткой, проставляющей номера датчиков.

К показывающим и регулирующим приборам относятся потенциометры типов ЭПВ (рис. 52,б). В ЭПВ установлена вращающаяся цилиндрическая шкала; прибор имеет цепь автоматической сигнализации и является регулирующим прибором.

Автоматические электронные потенциометры КСП-3, ЭППВ (рис. 52,а, в) относятся к наиболее распространенным автоматическим показывающим самопишущим и регулирующим приборам с записью на ленточной диаграмме.

Приборы типа КСП отличаются повышенной надежностью в работе, высокой унификацией узлов и блоков. Кроме того, в приборах применяются полупроводниковые усилители, пришедшие на смену усилителям с электронными лампами.

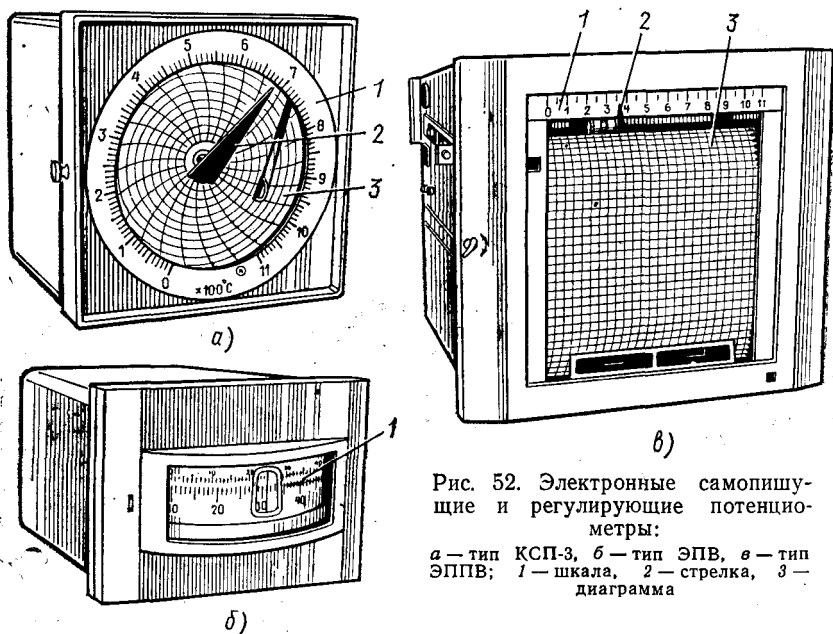


Рис. 52. Электронные самопишущие и регулирующие потенциометры:

а — тип КСП-3, б — тип ЭПВ, в — тип ЭППВ; 1 — шкала, 2 — стрелка, 3 — диаграмма

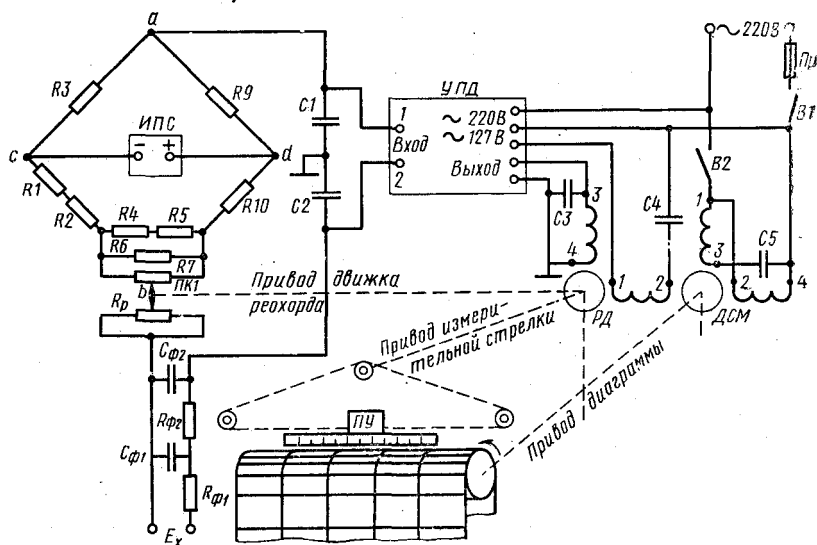


Рис. 53. Электрическая схема автоматического самопишущего потенциометра КСП-2:

ИПС — источник постоянного тока, УПД — электронный усилитель, РД — реверсивный двигатель для привода измерительной стрелки прибора и контакта реохорда, ДСМ — двигатель привода диаграммы

Учитывая перспективу дальнейшего применения полупроводниковых приборов в КИПиА, рассмотрим работу потенциометра КСП-2 с полупроводниковым усилителем типа УПД (рис. 53).

В основу работы измерительной схемы прибора положен компенсационный метод измерения э. д. с., рассмотренный ранее. Датчик термо-э д. с. (E_x) включен последовательно с усилителем УПД в диагональ измерительного моста ab . В диагональ cd включен источник стабилизированного питания ИПС, который обеспечивает постоянство рабочего тока в измерительной схеме. Если э. д. с. датчика не равна напряжению в точках a и b , то на вход усилителя УПД (клеммы 1, 2) подается сигнал постоянного тока, равный разности э. д. с. и напряжению в точках a и b . Сигнал постоянного тока преобразуется вибропреобразователем в переменный ток и усиливается до напряжения, достаточного для приведения в действие реверсивного двигателя РД (клеммы 3, 4). Ротор двигателя вращается, передвигая движок реохорда R_p совместно со стрелкой прибора до тех пор, пока существует сигнал, вызванный разбалансом схемы. При равенстве э. д. с. датчика и напряжения в точках a и b восстанавливается равновесие схемы, сигнал на входе усилителя отсутствует, ротор двигателя находится в покое, движок реохорда и стрелка прибора занимают соответствующее положение.

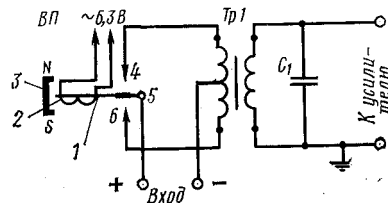


Рис. 54. Входное устройство усилителя УПД

Для устранения влияния помех (поперечных и продольных), возникающих от электрических наводок кабелей и проводов в цепи термоэлектрического преобразователя (термопары) на вход прибора E_x подключен двухзвенный Г-образный фильтр $R_{\phi 1} - C_{\phi 1}; R_{\phi 2} - C_{\phi 2}$.

Принципиальная электрическая схема усилителя УПД имеет четыре основных узла: входное устройство, усилитель напряжения, усилитель мощности, источник питания.

Входное устройство усилителя УПД (рис. 54) состоит из вибропреобразователя ВП и входного трансформатора $Тр1$, оно служит для преобразования сигнала датчика (термопары) постоянного тока в переменный ток с частотой 50 Гц. Входной трансформатор согласует низкоомный измерительный вход (термопару) с высокоомным сопротивлением входа полупроводникового усилителя и разделяет их электрические цепи.

Вибропреобразователь ВП состоит из стального якоря 1 с контактом 5, постоянного магнита 3, катушки возбуждения 2, питающейся напряжением переменного тока 6,3 В, и контактов 4 и 6. Разность сигнала E_x от датчика и напряжения между точками a и b (см. рис. 53) поступает на входное устройство усилителя. Якорь вибропреобразователя под действием переменного

магнитного потока колеблется с частотой 50 Гц и поочередно замыкает с помощью контактов одну или другую половину первичной обмотки трансформатора, изменяя при этом направление токов в обмотках. Под действием переменного магнитного потока во вторичной обмотке трансформатора индуцируется переменная э. д. с., которая поступает на первый каскад усилителя. При этом если изменяется полярность сигнала на входном устройстве, то соответственно изменяется на 180° и фаза напряжения во вторичной обмотке трансформатора.

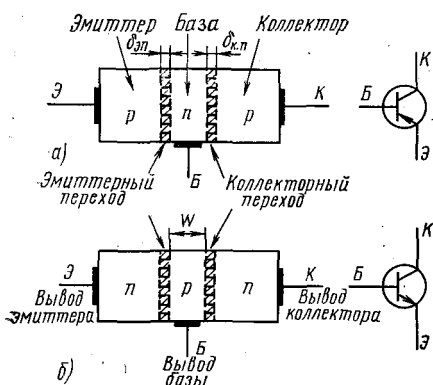


Рис. 55. Устройство и обозначение плоскостных транзисторов

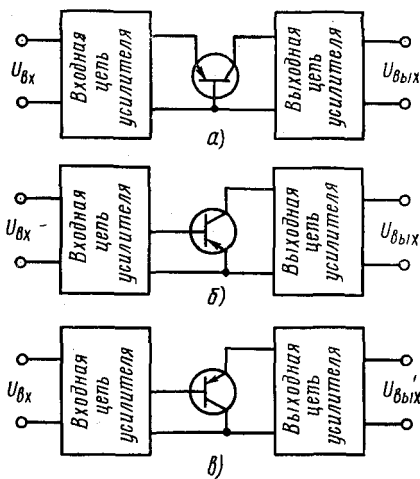


Рис. 56. Способы включения транзисторов:

а — с общей базой, б — с общим эмиттером, в — с общим коллектором

Принцип действия полупроводникового усилителя. Так как величина входного сигнала датчика (термопары) незначительна и может составлять единицы и десятки милливольт, то для усиления этого сигнала до величины, необходимой для приведения в действие реверсивного двигателя, применяется многокаскадный полупроводниковый усилитель. Основными элементами усилителя являются полупроводниковые приборы — транзисторы.

Транзистор представляет собой совокупность двух взаимодействующих плоскостных электронно-дырочных переходов в едином монокристалле полупроводника. Один из переходов предназначен для включения в прямом направлении и называется эмиттерным, другой — в обратном направлении и называется коллекторным. Средняя область транзистора, общая для обоих переходов, называется базой.

В зависимости от характера проводимости базы различают транзисторы типа $p-n-p$ (рис. 55,а) и типа $n-p-n$ (рис. 55,б). База является областью взаимодействия электронно-

дырочных переходов, в ней происходят процессы, благодаря которым транзистор обладает усилительными свойствами.

В схемах усилителей используются три способа включения транзисторов (рис. 56): с общей базой, с общим эмиттером и с общим коллектором.

Транзисторы имеют ряд характеристик, среди которых основными являются входное и выходное сопротивления, коэффициенты усиления по току и напряжению.

Коэффициент усиления по току — отношение изменения тока выхода транзистора к вызвавшему его изменению входного тока: $K_I = I_{\text{вых}} / I_{\text{вх}}$.

Коэффициент усиления по напряжению — отношение изменения напряжения на выходе транзистора к вызвавшему его изменению напряжения на входе: $K_U = U_{\text{вых}} / U_{\text{вх}}$.

Усилитель на транзисторе с общим эмиттером может иметь значительный коэффициент усиления не только по напряжению, но и по току. Поэтому данная схема включения транзистора применяется наиболее часто, в том числе и в усилителе УПД (рис. 57).

Усилитель напряжения переменного тока имеет пять каскадов; первые четыре выполнены по схеме с общим эмиттером (транзисторы $T1—T4$) и разбиты на две группы, связанные между собой конденсатором $C3$; пятый каскад (транзисторы $T5, T6$) — по схеме составного эмиттерного повторителя.

Каждый каскад усилителя характеризуется коэффициентом усиления по напряжению: $K_U = U_{\text{вых}} / U_{\text{вх}} = U_K / U_э$, где K_U — коэффициент усиления по напряжению, U_K — напряжение коллектора, $U_э$ — напряжение эмиттера.

Общий коэффициент усиления многокаскадного усилителя равен произведению коэффициентов усиления отдельных его каскадов: $K_{\text{общ}} = K_1 K_2 K_3 \dots K_n$.

С повышением числа каскадов повышается уровень внутренних помех. Помехи представляют собой небольшие хаотические напряжения и токи, возникающие в схеме в силу различных причин. Наибольшему усилению подвергаются помехи первого каскада, поэтому коэффициент усиления первого каскада выбирается минимальным.

В коллекторную цепь каждого транзистора вводят сопротивления коллекторной нагрузки для обеспечения необходимого динамического режима транзистора. Например, сопротивлением коллекторной нагрузки транзистора $T1$ является сопротивление $R2$, а транзистора $T2$ — сопротивление $R6$. Напряжение смещения в транзисторе служит для начального движения свободных носителей зарядов из эмиттера в базу, при этом транзистор работает как усилитель электрических сигналов.

Усиленное напряжение с выхода первого каскада подается на вход второго и т. д. После пятого каскада (транзисторы $T5$ и $T6$) обеспечивается необходимая величина выходного напряжения, однако мощность сигнала незначительна для питания управ-

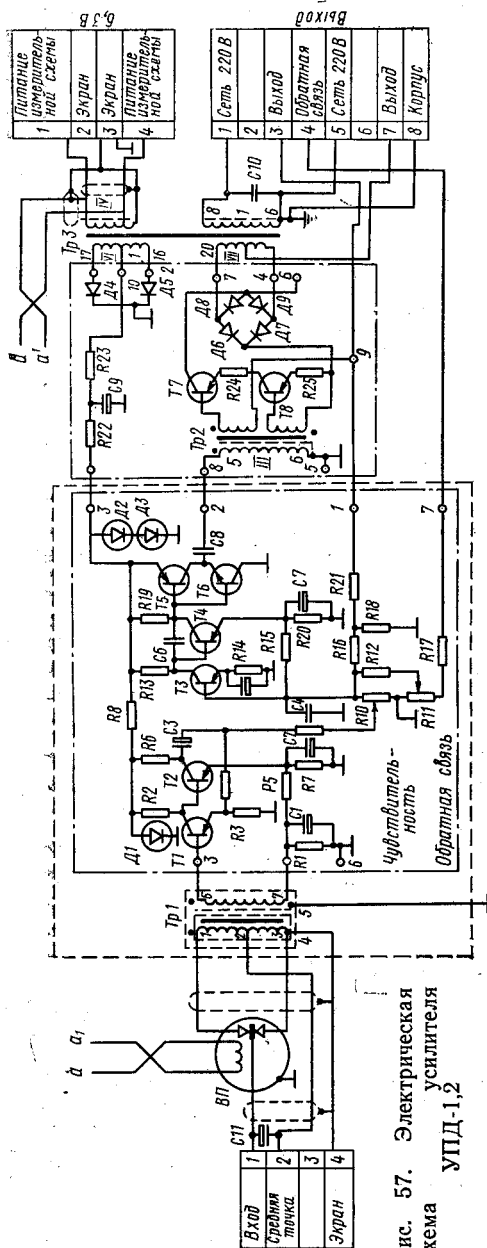


Рис. 57. Электрическая схема УПД-1,2

ляющей обмотки реверсивного двигателя типа РД. Поэтому после пятого каскада усилителя напряжения включается усилитель мощности, выполненный на транзисторах Т7, Т8 по схеме с общим эмиттером. Связь усилителя мощности с усилителями напряжения осуществляется через трансформатор Тр2.

Усилитель питается от силового трансформатора Тр3, две вторичные обмотки которого нагружены выпрямителями. Выпрямитель на диодах Д4, Д5 питает усилитель напряжения, выпрямитель на диодах Д6—Д9 — усилитель мощности. Между средними точками вторичной обмотки силового трансформатора Тр3 и каскада усиления мощности включена управляющая обмотка реверсивного двигателя. При изменении полярности входного сигнала вибропреобразователя меняется на 180° фаза напряжения вторичной обмотки входного трансформатора, а следовательно, изменяется на 180° фаза напряжения на выходе усилителя напряжения. Следовательно, при изменении полярности входного сигнала ротор реверсивного двигателя меняет направление вращения, перемещая одновременно указательную стрелку прибора и движок реохорда в противоположную сторону.

Электродвигатель типа РД (см. рис. 53) состоит из статора и ротора. Ротор представляет собой короткозамкнутую обмотку типа «беличьего колеса». Статор имеет две обмотки: первая обмотка 1—2 через

конденсатор $C4$ питается напряжением 220 В переменного тока, чем обеспечивается сдвиг фазы тока в обмотке на 90° , вторая обмотка 3—4 питается от усилителя мощности. Под действием двух магнитных потоков в статорных обмотках образуется вращающееся магнитное поле, под действием которого ротор вращается в ту или иную сторону.

Вторичные приборы, работающие с термометрами сопротивления, называются мостами и логометрами. Элементарная измерительная схема моста (рис. 58) имеет четыре сопротивления R_1 , R_2 , R_3 и R_x , образующие плечи моста. В одну диагональ подключается источник питания, в другую — чувствительный измерительный прибор (нуль-индикатор). При выполнении равенства $R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_x$ ток в измерительной диагонали (в нуль-индикаторе) равен нулю. Это уравнение называется уравнением баланса моста.

Практические мостовые схемы имеют различные технические решения, однако принципиально неизвестное сопротивление термометра сопротивления R_x определяется по трем известным сопротивлениям плечей моста: $R_x = (R_1 \cdot R_3) / R_2$. Существуют различные типы автоматических мостов: показывающие, самопишущие и регулирующие. Наиболее распространены показывающие мосты ЭВМ2, МП4 и МПР4, самопишущие мосты с записью на дисковой диаграмме ЭМД, ЭМ и МЭД, самопишущие мосты с записью на ленточной диаграмме ЭМП, МС, МСР, КСМ.

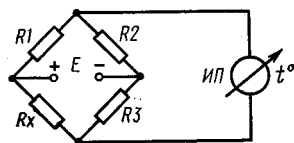


Рис. 58. Мостовая схема измерения температуры:

R_1 — R_3 — сопротивления плеч моста, R_x — сопротивление термометра, ИП — измерительный прибор, E — источник питания

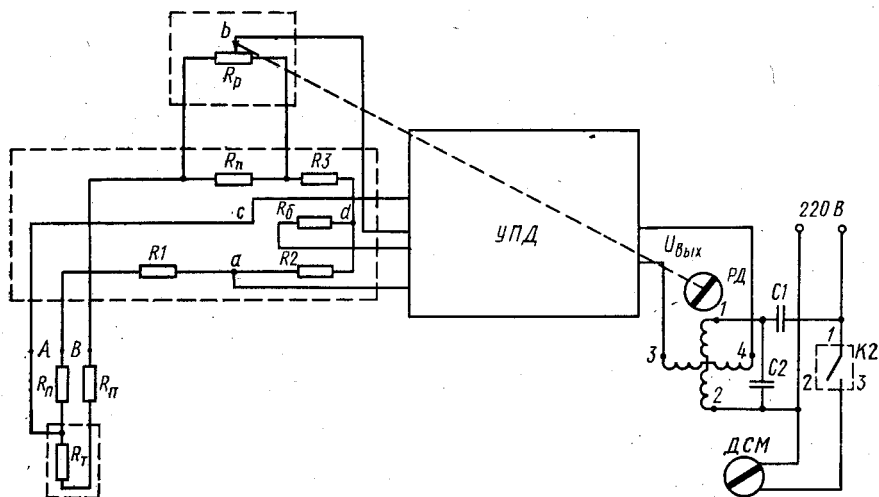


Рис. 59. Схема подключения термометра сопротивления к электронному мосту типа КСМ

Автоматический показывающий самопишущий мост КСМ имеет полупроводниковый усилитель и отличается высокой унификацией узлов и блоков.

Измерительная схема прибора (рис. 59) состоит из трех плеч с сопротивлениями R_1 , R_2 , R_3 и четвертого плеча, состоящего из термометра сопротивления R_t и сопротивления реохорда R_p . Для питания измерительной схемы используется переменное напряжение 6,3 В, включенное в диагональ питания cd . Подключение термометра сопротивления R_t к прибору выполняется по трехпроводной схеме. Для подгонки сопротивления линии, согласно данным прибора, в цепи термометра устанавливают сопротивления R_n . Трехпроводная схема устраняет влияние сопротивления соединительных проводов, так как провода A и B входят в разные плечи моста. Кроме того, при такой схеме снижается температурная погрешность измерений.

При изменении сопротивления термометра под влиянием температуры контролируемого объекта нарушается условие равновесия моста; в диагонали ab возникает напряжение разбаланса, которое подается на вход полупроводникового усилителя УИД.

Усиленное напряжение подается на управляющую обмотку 3, 4 реверсивного двигателя типа РД. Под действием вращающегося магнитного потока ротор двигателя начинает вращаться, передвигая при этом движок реохорда R_p и указательную стрелку прибора. Ротор вращается до тех пор, пока не установит движком реохорда положение равновесия моста. В положении равновесия напряжение в диагонали ab равно нулю, следовательно, и напряжения на входе и выходе усилителя равны — ротор реверсивного двигателя находится в покое. По измерительной стрелке относительно шкалы прибора определяют значение измеряемой величины. С помощью двигателя ДСМ производится привод диаграммы прибора.

Кроме автоматических уравновешенных мостов для измерения температуры ограниченно применяют и неуравновешенные мосты. Одним из существенных недостатков неуравновешенных мостов является зависимость тока небаланса от напряжения питания, что влияет на точность показаний. В связи с этим в схеме предусматривается контроль и коррекция напряжения питания.

В технологических измерениях температуры объектов широко применяют логометры. Логометры, подобно мостам, работают в комплекте с термометрами сопротивления. Измерительный механизм логометра представляет собой прибор магнитоэлектрической системы с внутримачочной магнитной системой.

По конструкции логометры выпускают показывающие и самопишущие, с круглыми и профильными шкалами. Наиболее распространенными приборами являются логометры показывающие Л-64 и логометры регулирующие ЛР1-02 и ЛР-64-02. Два последних типа имеют двухдиапазонное регулирующее устройство для целей сигнализации и позиционного регулирования.

Электрическая схема логометра ЛР-64-02 показана на рис. 60. Прибор имеет измерительную и регулировочную части. Измерительная часть представляет собой мостовую схему, в одно из плеч которых включен термометр сопротивления R_T (клеммы 2—3). Диагональ питания (клеммы 1—4) подключена к внутреннему источнику стабилизированного питания.

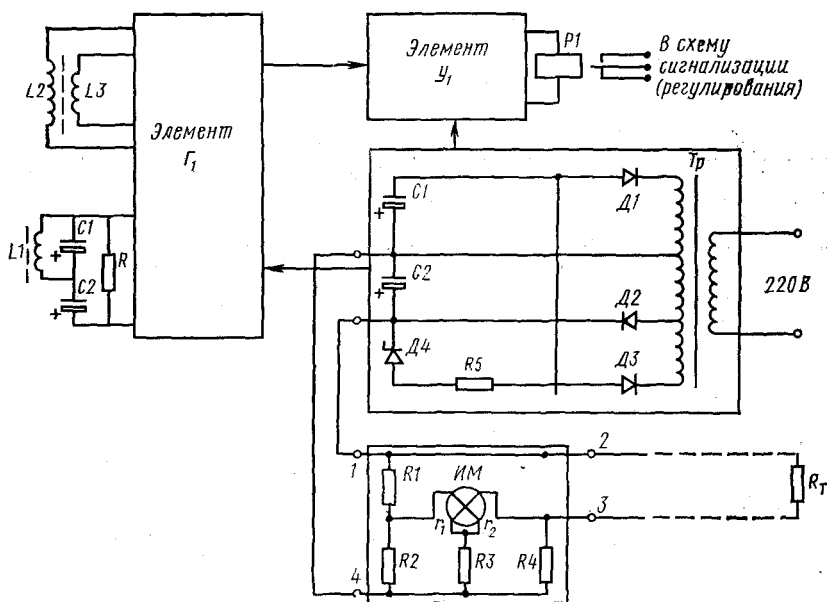


Рис. 60. Электрическая схема логометра ЛР-64-02

В измерительную диагональ подключены две рамки r_1 и r_2 , представляющие подвижную часть измерительного механизма. Рамки включены в схему так, чтобы создаваемые ими вращающие моменты, образованные взаимодействием магнитного поля постоянного магнита и тока в рамке, были направлены навстречу друг другу. Напряженность магнитного поля в зазоре, в котором вращаются рамки, неравномерна, так как неравномерен воздушный зазор по окружности. При повороте рамок в магнитном поле постоянного магнита вращающий момент одной рамки уменьшается, так как увеличивается воздушный зазор между рамкой и полюсным наконечником, и уменьшается напряженность магнитного поля. Противодействующий момент другой рамки увеличивается, так как рамка входит в уменьшающийся воздушный зазор, где напряженность магнитного поля увеличивается. Под действием этих магнитных моментов устанавливается равновесие измерительной системы.

Новому значению сопротивления термометра R_T соответствует новое положение равновесия моста. Следовательно, угол по-

ворота рамки со стрелкой пропорционален значению сопротивления термометра.

Преимуществом схем логометра перед схемой неуравновешенного моста является независимость его показаний от напряжения источника питания. Регулирующая часть прибора представляет собой высокочастотный автогенератор Γ_1 с индуктивными обмотками $L1-L3$ на ферритовых сердечниках и усилителя $У_1$ на трех транзисторах. Схема и работа регулирующей части логометра ЛР-64-02 аналогична рассмотренной схеме милливольтметра МР-64-02.

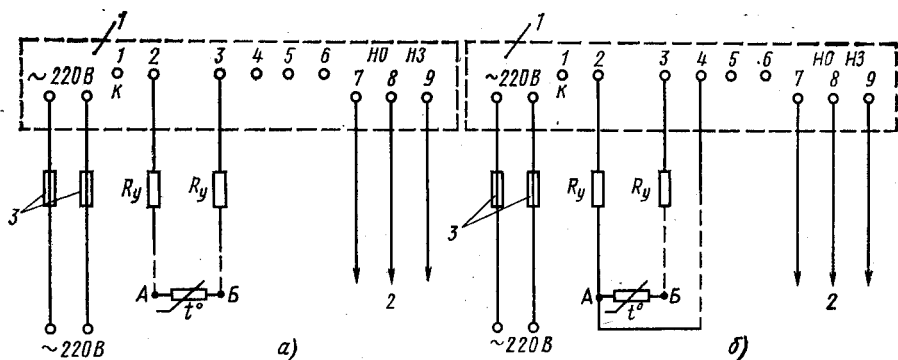


Рис. 61. Схема соединения термометра сопротивления с логометром ЛР-64-02: а — двухпроводная схема, б — трехпроводная схема, t' — термометр сопротивления; R_y — подгоночные катушки сопротивления; 1 — клеммник, 2 — контакты сигнализации (регулирования), 3 — предохранители

Основная погрешность прибора не превышает $\pm 1,5\%$ от диапазона измерения. Прибор допускает двух- и трехпроводную схему включения термометра сопротивления.

При двухпроводной схеме (рис. 61,а) сопротивление обоих проводов, соединяющих термометр с прибором вместе с подгоночной катушкой, подключенной к зажиму 3, должны быть равны половине сопротивления линии, указанной на шкале прибора. Сопротивление линии всех типов современных логометров составляет 5 и 15 Ом.

Сопротивление линии подгоняют уменьшением сопротивления подгоночной катушки R_y , подключенной к зажиму 3, а сопротивление подгоночной катушки, подключенной к зажиму 2, не изменяется.

Для уменьшения влияния изменения сопротивления соединительных проводов от изменения окружающей температуры используют трехпроводную схему включения термометра.

На трехпроводной схеме (рис. 61,б) сопротивление каждого из соединительных проводов вместе с подключенными катушками R_y , присоединяемых к зажимам 2, 3, должно составлять половину значения сопротивления линии $R_{л}$, указанного на шкале прибора.

Подгонку сопротивления линии термометра сопротивления выполняют в следующем порядке:

закорачивают (соединяют) зажимы *А* и *Б* в головке термометра сопротивления;

отсоединяют провода, идущие от прибора к термометру сопротивления (зажимы 2, 3, 4);

мостом сопротивления (типов МВУ-49, МО) измеряют сопротивление проводов попарно: $R_a + R_6$; $R_a + R_c$; $R_6 + R_c$, где R_a — сопротивление провода, подключаемого к зажиму 2, при снятой подгоночной катушке R_y , R_6 — сопротивление провода, подключаемого к зажиму 3, при снятой подгоночной катушке R_y , R_c — сопротивление провода, подключаемого к зажиму 4;

значение сопротивления R_a и R_6 определяют по формулам:

$$R_a = [(R_a + R_6) + (R_a + R_c) - (R_6 + R_c)] / 2,$$

$$R_6 = [(R_a + R_6) - (R_a + R_c) + (R_6 + R_c)] / 2;$$

уменьшают значение сопротивления подгоночных катушек так, чтобы каждый из проводов линии R_a и R_6 вместе со своей катушкой R_y имел значение сопротивления, равное половине сопротивления линии, указанного на шкале прибора, т. е. $2,5 \pm 0,01$ Ом или $7,5 \pm 0,03$ Ом;

подключают линию и подгоночные катушки R_y к прибору согласно схеме (рис. 61, б) и снимают перемычку с зажимов *А* и *Б*.

§ 5. Пирометры

Для измерения температур от 400 до 4000 °С используют пирометры излучения. Принцип работы этих приборов основан на способности нагретого тела излучать энергию в виде световых и тепловых лучей. С повышением температуры тела интенсивность излучения возрастает, кроме того, появляются излучения различных длин волн. При большей температуре большая часть энергии излучается с меньшей длиной волны. Эталонем максимальной лучеиспускательной и лучепоглощающей способности является абсолют-

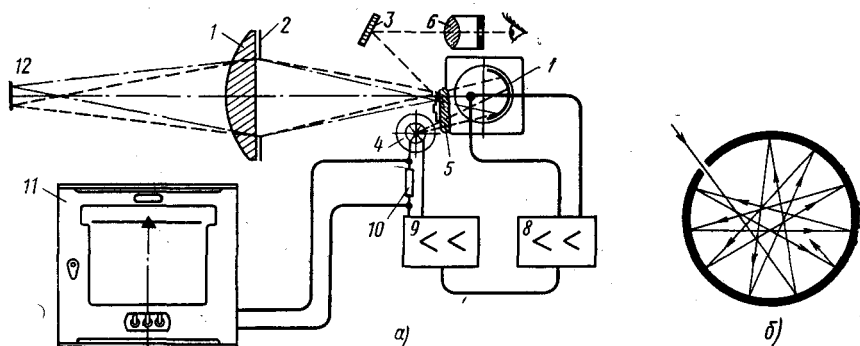


Рис. 62. Пирометр ФЭП-4:

а — схема пирометра, *б* — модель абсолютно черного тела; 1 — линза объектива, 2 — диафрагма, 3 — зеркало, 4 — лампа обратной связи, 5 — светофильтр, 6 — окуляр, 7 — фотоэлемент, 8 — усилитель, 9 — выходной каскад, 10 — калиброванное сопротивление, 11 — потенциометр, 12 — объект измерения

но черное тело. Однако ни один из материалов в природе не обладает такой способностью. На рис. 62, б показана модель абсолютно черного тела. Если даже внутренняя поверхность тела имеет не очень большой коэффициент поглощения, то излучение все равно практически полностью поглотится внутренней поверхностью в результате многократных внутренних отражений.

Согласно закону Стефана Больцмана, интегральная излучательная способность абсолютно черного тела пропорциональна четвертой степени его абсолютной температуры: $\epsilon_T = \sigma T^4$, где ϵ_T — интегральная излучательная способность абсолютно черного тела, σ — универсальная постоянная, T — абсолютная температура.

С помощью пирометров по яркости излучения определяют температуру нагретого тела. Градуируют пирометры по интенсивности излучения искусственного черного тела. Пирометры выпускают двух типов: оптические и радиационные.

Пирометры, основанные на яркостном методе измерения, называются оптическими или яркостными.

Пирометры, использующие радиационный метод измерения температуры, называются радиационными или пирометрами полного излучения.

К оптическим пирометрам относятся приборы ОППИР и ФЭП-4, которые являются измерителями одноцветного монохроматического излучения.

Принцип действия оптического пирометра ОППИР основан на сравнении через светофильтр яркости нагретого объекта и яркости раскаленной нити фотометрической лампы накаливания. Светофильтр пропускает излучения определенной длины волны. Прибор ОППИР позволяет измерять температуру от 800 до 6000 °С. Основная погрешность измерения 4—8 %.

Принцип действия фотоэлектрического пирометра ФЭП-4 (рис. 62, а) заключается в том, что излучение от объекта измерения 12 вместе с излучением от эталонной лампы 4 в противофазе попадает на фотозаэлемент 7. Разность этих световых потоков усиливается усилителем 8 и подается на выходной каскад 9, нагрузкой которого является эталонная лампа накаливания 4, последовательно с которой установлено калиброванное сопротивление 10. Падение напряжения на калиброванном сопротивлении измеряется электронным потенциометром 11, шкала которого отградуирована в единицах измерения температуры.

Пирометр выпускают на пределы измерения температуры от 500 до 4000 °С. Основная погрешность не превышает ± 1 % при измерении температуры не выше 2000 °С и 1,5 % — при температуре выше 2000 °С.

Радиационный пирометр РАПИР является измерителем полного излучения и предназначен для измерения температур в диапазоне 100—2500 °С. Основным элементом прибора является телескоп ТЭРА-50 (рис. 63) с термобатареей, преобразующий тепловое излучение тела в термо-э.д.с., которая измеряется вторичным прибором. В зависимости от диапазона измеряемой температуры вы-

пускается четыре типа телескопов ТЭРА-50. Основная погрешность измерения составляет от 8 до 30 %.

Чувствительным элементом телескопа ТЭРА-50 является термо-батарея, состоящая из десяти соединенных последовательно термопар типа хромель-алюмель. При таком соединении результирующая термо-э.д.с. батареи равна сумме термо-э.д.с. составляющих ее элементов, что значительно повышает чувствительность прибора.

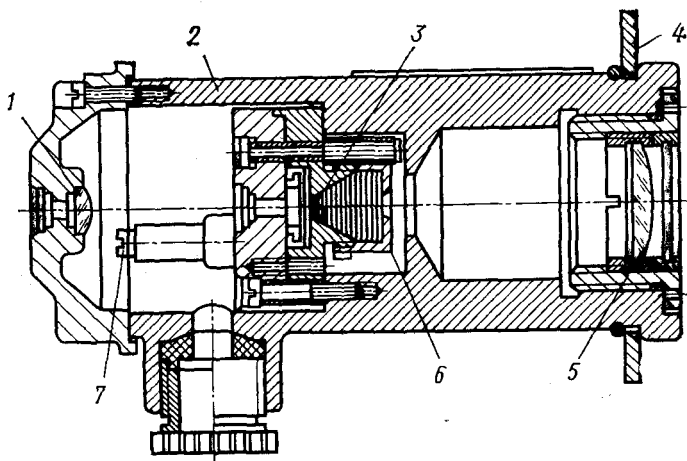


Рис. 63. Общий вид телескопа ТЭРА-50:

1 — линза окуляра, 2 — корпус, 3 — термобатарея, 4 — фланец, 5 — линза объектива, 6 — диафрагма, 7 — клеммы для измерительного прибора

При градуировках пирометров устанавливается зависимость между температурой объекта измерения и напряжением термо-батареи приемника.

Для устранения погрешности измерений от температуры свободных концов термопар в радиационных пирометрах используют компенсирующие устройства.

Для компенсации температуры до 100 °С термобатарею шунтируют медной или никелевой проволокой. Для компенсации температуры до 200 °С часть светового потока лучей перекрывается биметаллическими пластинами.

Компенсирующие устройства монтируют непосредственно в телескопе и находятся при температуре, равной температуре свободных концов термобатареи.

При измерении телескоп располагают на расстоянии 1 м от объекта измерения и наводят на него через линзу окуляра.

Для предохранения прибора от механических повреждений, пыли, действия высоких температур, выброса пламени применяется комплект защитной аппаратуры, в который входят узлы воздушного и водяного охлаждения телескопа и калильные трубки, служащие для измерения температуры печей в случае сильной загрязненности и наличия пламени.

Непосредственно оптические системы телескопов для измерения температуры в интервале $100\text{--}500^\circ\text{C}$ выполняются из флюорита или фтористого лития, для температуры $400\text{--}2000^\circ\text{C}$ из кварцевого стекла, для температуры $900\text{--}3000^\circ\text{C}$ — из оптического стекла типа К-8.

§ 6. Преобразователи температуры

В системах централизованного контроля, управления и регулирования сложных технологических процессов при большом числе точек измерения используют приборы Государственной системы (ГСП), включающей целую серию датчиков-преобразователей физических величин с унифицированным выходным сигналом постоянного тока $0\text{--}5$ и $0\text{--}20$ мА и напряжения постоянного тока $0\text{--}10$ В.

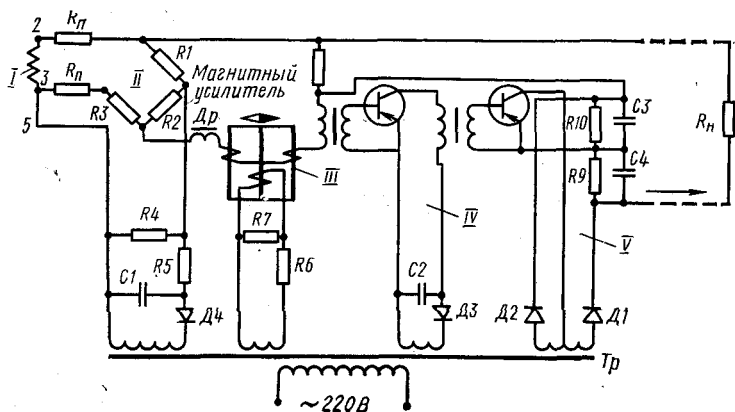


Рис. 64. Упрощенная схема преобразователя ПТ-ТС:

I — термометр сопротивления, *II* — измерительный мост, *III* — магнитный усилитель, *IV*, *V* — усилитель напряжения, R_n — сопротивление нагрузки, Tr — трансформатор

Преобразователи НП-СЛ и ПТ-ТС (рис. 64) предназначены для преобразования величины сопротивления термометра в унифицированный сигнал постоянного тока от 0 до 5 мА. Преобразователь может работать с медными и платиновыми термометрами сопротивления. В качестве вторичных приборов используют самопишущие или показывающие миллиамперметры. Основная погрешность составляет $\pm 0,5\%$.

Преобразователь состоит из измерительного моста *II* и трехкаскадного усилителя *III*, *IV*, *V*, охваченного обратной связью по выходному току. Измерительный мост служит для питания термометра сопротивления *I* и выдачи напряжения, пропорционального изменению сопротивления термометра. На первом каскаде усилителя, представляющего собой магнитный усилитель *III*, при появлении входного сигнала постоянного тока от измерительного моста на выходе возникает переменное напряжение. Второй и третий кас-

кады являются усилителями напряжения IV, V, кроме того, третий каскад одновременно является выпрямителем. Для этого усилитель напряжения V питается через два диода Д1—Д2 от обмоток трансформатора, находящихся в противофазе.

В цепь каждого диода включен напрузочный резистор (R_9 — R_{10}). Если входной сигнал отсутствует, то через оба резистора проходит небольшой ток и на сопротивлениях образуются равные падения напряжения, результирующее напряжение на которых, равное их разности, равно нулю. При появлении входного сигнала ток через один диод увеличивается, а через другой уменьшается — появляется выходной ток. Падение напряжения при протекании этого тока через сопротивления обратной связи уравнивает э. д. с. измерительного моста.

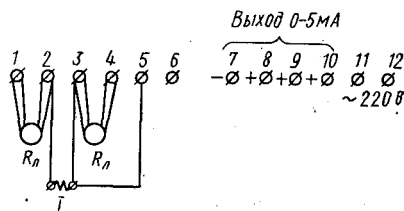


Рис. 65. Схема включения преобразователя ПТ-ТС с термометром сопротивления:

R_n — подгоночные катушки, I — термометр сопротивления

Подбором коэффициента усиления в схеме обеспечивается равенство между падением напряжения на сопротивлении обратной связи и значением э. д. с. измерительного моста, что соответствует пропорциональности между изменением сопротивления термометра и выходным током. Термометр сопротивления I соответствующей градуировки подключается к преобразователю по трехпроводной схеме на клеммы 2—3—5, при этом сопротивление проводов линии должно быть равно 2,5 Ом (рис. 65). В зависимости от сопротивления нагрузки токовой цепи вторичный прибор подключается к двум клеммам из четырех (7—10).

Преобразователи ПТ-ТП и НП-ТЛ предназначены для преобразования э. д. с. термопары в унифицированный сигнал постоянного тока от 0 до 5 мА. Электрическая схема преобразователя ПТ-ТП подобна схеме преобразователя типа ПТ-ТС. К преобразователю подключается термопара соответствующей градуировки, сопротивление входной цепи 50 Ом, сопротивление токового прибора (нагрузки) не более 3 кОм. Погрешность преобразователя 0,5 %. Вторичный токовый прибор градуируется в градусах Цельсия.

§ 7. Вспомогательные элементы

В электрических схемах технологических измерений температуры используют вспомогательные элементы.

Переключающие устройства служат для поочередного подключения термопар или термометров сопротивления к вторичному прибору. Переключатели ПМТ (рис. 66) допускают подключение от 4 до 20 датчиков и соответственно обозначаются ПМТ-4, ПМТ-6, ПМТ-8 и т. д. Малогабаритный переключатель МГП-10 допускает подключение 10 датчиков. Панель с роликовыми переключателями типа ПДП-ТП используют для подключения термопар к вторичным приборам.

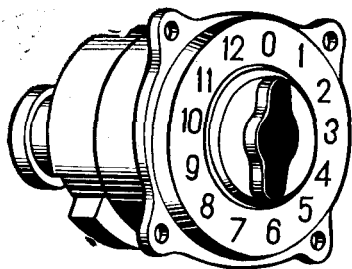


Рис. 66. Переключатель типа ПМТ

рует термо-э. д. с., возникшую при изменении температуры свободного конца термопары.

При температуре 20°C сопротивления резисторов $R1—R4$ равны, поэтому в измерительной диагонали CD разность потенциалов отсутствует и милливольтметр 3 имеет нулевые показания.

Устройства питания СВ-4 и ИСП представляют собой выпрямители (рис. 67, б), смонтированные вместе с понижающим трансформатором. Они предназначены для питания логометров с напряжением постоянного тока $(4 \pm 0,2)\text{ В}$. Максимальная нагрузка устройств питания составляет $0,5\text{ А}$.

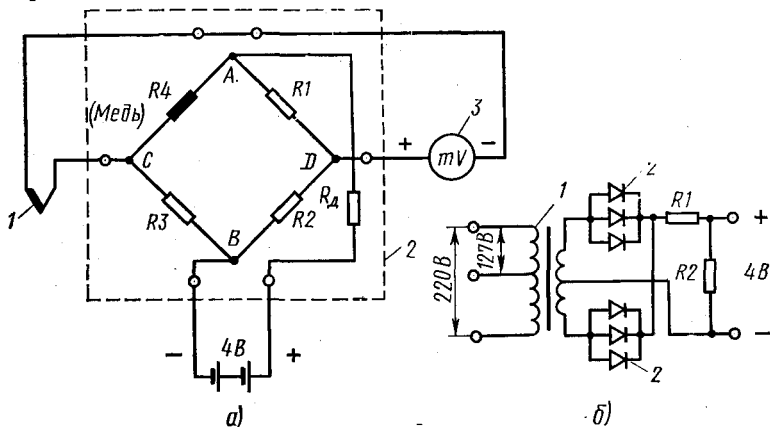


Рис. 67. Соединение термопары с милливольтметром через компенсационную коробку КТ-54:

а — электрическая схема соединения: 1 — термопара, 2 — коробка КТ-54, 3 — милливольтметр; б — схема сетевого выпрямителя СВ-4: 1 — трансформатор, 2 — выпрямитель, $R1, R2$ — резисторы

При измерениях высоких температур ($600—1600^{\circ}\text{C}$) на технологическом оборудовании свободные концы термопары повышают свою температуру в пределах 100°C , что вносит погрешность в измерение действительной температуры. Поэтому для устранения данной погрешности при измерении температуры термоэлектрическими термометрами свободные концы датчика вводят в зону более постоянной и низкой температуры (до 0°C) за счет компенсационных проводов.

Компенсационные провода используют для подключения термопар к приборам и для переноса свободных концов термопар в зону с постоянной температурой. Подобно термопарам, компенсационные провода имеют определенную маркировку (табл. 7). Так, для термопар хромель-копель используется компенсационный провод ХК; для термопар хромель-алюмель — провод М; для термопар платинородий-платина — провод П.

На рис. 68 приведена схема соединения термопар с милливольтметром с использованием вспомогательных элементов.

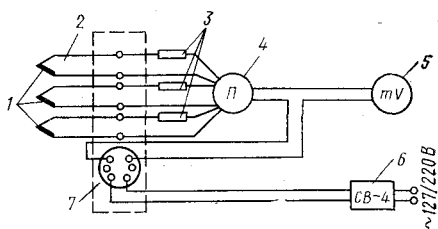


Рис. 68. Схема соединения термопар с милливольтметром:

1 — термопары, 2 — компенсационные провода, 3 — подгоночные катушки, 4 — переключатель, 5 — милливольтметр, 6 — источник питания, 7 — компенсационная коробка КТ-54

§ 8. Технологические сигнализаторы температуры

Технологическими сигнализаторами называют такие элементы автоматики, которые предназначены для позиционного регулирования (включения — выключения) и сигнализации предельных значений контролируемых параметров.

Отличительной особенностью сигнализаторов является отсутствие измерительных шкал, поэтому такие сигнализаторы называются бесшкальными. Сигнализаторы в большинстве случаев имеют регулируемый диапазон срабатывания, позволяющий использовать их в определенном интервале рабочих пределов.

Сигнализаторы широко применяют в цепях автоматического контроля простых и сложных технологических процессов. Например, сигнализаторы температуры, давления воды и масла, реле протока воды используют как элементы автоматической защиты при работе ответственных двигателей, компрессоров и преобразователей. При нарушении одного или нескольких контролируемых параметров (температуры подшипников и масла, давления масла и охлаждающей воды, отсутствие протока охлаждающей воды) сигнализаторы отключают работающее оборудование и включают сигнализацию нарушения параметров.

Сигнализаторы подразделяются на следующие основные типы: сигнализаторы температуры, сигнализаторы давления, сигнализаторы расхода, потока и скорости.

Сигнализаторы температуры. По принципу действия сигнализаторы температуры делятся на ртутные, манометрические, биметаллические, dilatометрические и термисторные.

Ртутные бесшкальные сигнализаторы температуры по устройству подобны ртутным стеклянным термометрам и имеют впаянные в капилляр электрические контакты, которые замыкают ртутью при достижении заданной температуры.

Термоконттакты типа ТК применяются в диапазоне температур от -5 до $+300^{\circ}\text{C}$. Допустимая погрешность датчиков не превышает в зависимости от рабочего диапазона температур $\pm 2-5^{\circ}\text{C}$, разрывная мощность контактов не более 2 Вт при токе до 0,2 А.

Манометрические сигнализаторы используют для автоматического контроля температуры неагрессивных жидкостей и газов. Конструкция и принцип действия датчиков подобны манометрическим термометрам типа ТПГ-СК (см. рис. 43, 44).

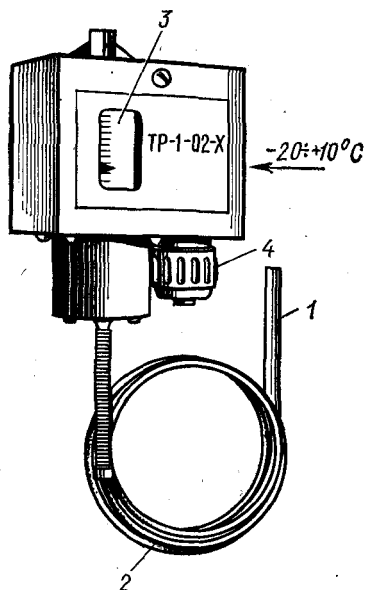


Рис. 69. Терморегулятор типа TP-1:

1 — термобаллон, 2 — капилляр, 3 — шкала, 4 — выводы регулятора

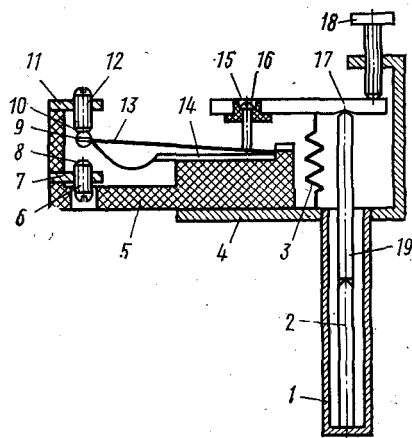


Рис. 70. Дилатометрический сигнализатор температуры ТРДЭ:

1 — трубка, 2 — стержень, 3 — пружина, 4 — плата, 5 — колодка, 6, 12 — винты, 7, 11, 14 — пластины, 8, 9, 10 — контакты, 13 — пружина, 15 — толкатель, 16 — изолятор, 17 — рычаг, 18 — винт регулировки, 19 — компенсационный стержень

В качестве наполнителя в термосистеме применяют фреон-12, фреон-22 и другие низкокипящие жидкости.

Дистанционные двухдиапазонные терморегуляторы типов TP-1, ТДК и ТДД работают в интервале от -30 до $+50^{\circ}\text{C}$. Настройка регуляторов производится перестановкой указателя — задатчика. На рис. 69 представлен общий вид регулятора типа TP-1.

Биметаллические сигнализаторы в зависимости от типа и модификации используют в пределах от -30 до $+250^{\circ}\text{C}$. В качестве чувствительных элементов сигнализаторов применяется сплав из двух металлов (биметалл), имеющих различные коэффициенты линейного расширения.

При повышении температуры измеряемой среды в пластине биметалла из-за разности указанных коэффициентов возникает деформирующее усилие, пластина изгибается и замыкает или размыкает закрепленный на ней электрический контакт. Основные

типы биметаллических сигнализаторов: РБ-1; РБ-3; РБ-7; ТР-4; ДТКМ. Погрешность сигнализаторов составляет $\pm 1-5^{\circ}\text{C}$.

Дилатометрические сигнализаторы типа ТРДЭ и РТ-200 работают на принципе изменения линейных размеров датчиков от температуры нагрева.

Сигнализатор ТРДЭ имеет четыре модификации: ТРДЭ-101; ТРДЭ-201; ТРДЭ-301 и ТРДЭ-801 с диапазонами регулируемых температур соответственно $0-40^{\circ}\text{C}$; $-30 \div +40^{\circ}\text{C}$; $+30 \div +100^{\circ}\text{C}$ и $0-250^{\circ}\text{C}$. Основная погрешность в зависимости от модификации составляет 1,5—2,5 % от рабочего диапазона температур.

Принцип действия дилатометрического сигнализатора типа ТРДЭ показан на рис. 70. Латунная трубка 1 имеет больший коэффициент линейного расширения, чем кварцевый стержень 2, поэтому при изменении температуры контролируемой среды длина трубки 1 изменится на большую величину, чем длина стержня 2. В результате этого изменится положение рычага 17, он переместит перекидную пружину 13 с подвижным электрическим контактом 9 в сторону замыкания или размыкания контактов. Перекидная пружина 13 настроена так, что при незначительном перемещении стержня 2 толкатель 15 при понижении температуры переводит пружину 13 в положение, соответствующее замыканию контактов 9, 10, а при повышении температуры — замыканию контактов 8, 9. Винтом 18 сигнализатор настраивают на определенную температуру.

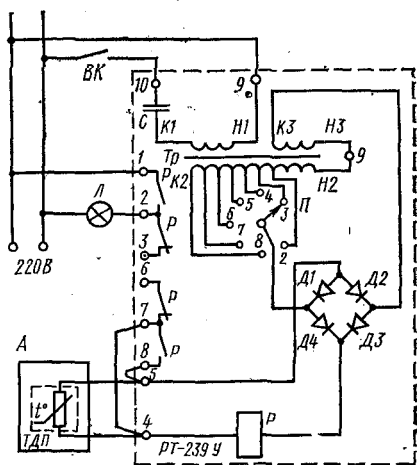


Рис. 71. Электрическая схема сигнализатора температуры АТВ-229:

А — объект, ВК — выключатель, Р — реле, Д1—Д4 — диоды, Л — лампа сигнализации

Термисторные сигнализаторы являются более современными элементами автоматической защиты технологического оборудования по температурному режиму, имеющие такие преимущества, как высокая надежность и малый габарит.

В качестве чувствительного элемента в таких сигнализаторах применяют термосопротивления — термисторы — типов ММТ, ДВС и ДАС, у которых при повышении температуры электрическое сопротивление уменьшается. Основными типами термисторных сигнализаторов являются полупроводниковые регуляторы температуры ПТР и АТВ-229.

Диапазон регулируемых температур регуляторов ПТР в зависимости от модификации прибора составляет $-30 \div +100^{\circ}\text{C}$. Область контролируемых температур регулятора АТВ-229 составляет $+24 \div +131^{\circ}\text{C}$.

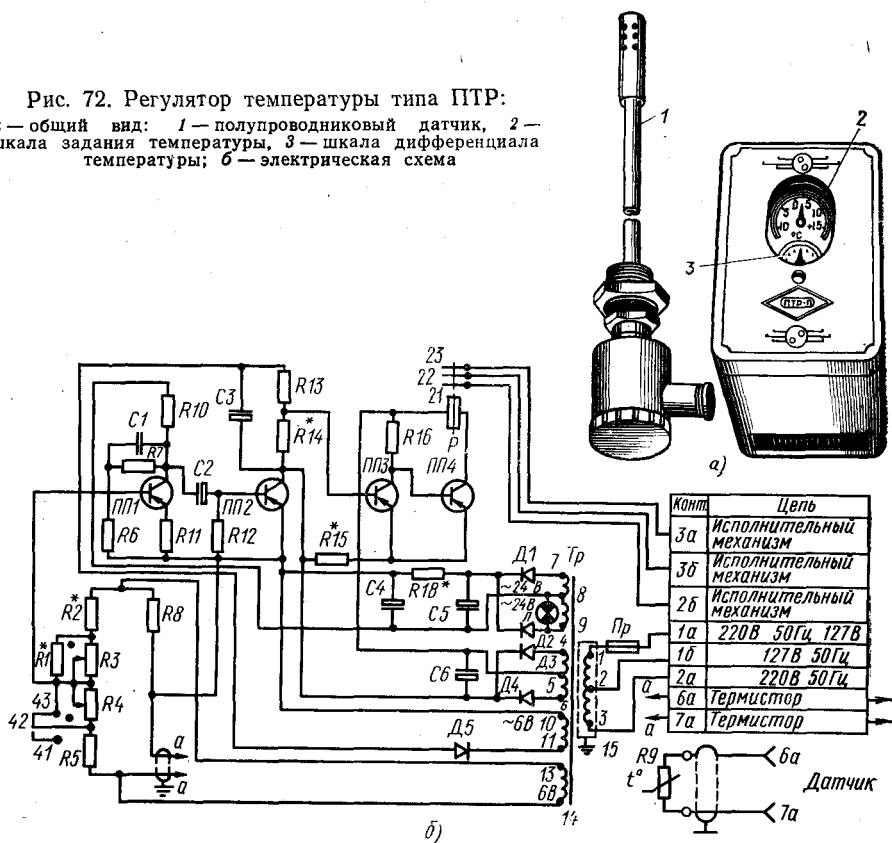
Регулятор АТВ-229 широко применяется для температурной защиты подшипников вращающихся механизмов и обмоток электрических машин. Прибор имеет температурное реле РТ-230у и десять термодатчиков типа ТДП.

Термодатчик представляет собой полупроводниковое сопротивление, которое при достижении заданной температуры нагреваясь резко уменьшает свое электрическое сопротивление.

На рис. 71 приведена электрическая схема сигнализатора температуры АТВ-229. Термодатчик ТДП включен последовательно с выходным реле сигнализации Р. Если температура контролируемой среды не достигла заданной величины, то сопротивление термистора велико и поэтому ток в цепи мал для срабатывания реле Р.

Рис. 72. Регулятор температуры типа ПТР:

а — общий вид: 1 — полупроводниковый датчик, 2 — шкала задания температуры, 3 — шкала дифференциала температуры; б — электрическая схема



При достижении заданной температуры сопротивление датчика резко уменьшается (в сотни раз), ток в цепи увеличивается и происходит срабатывание реле Р, которое своими контактами 1—2 включает световую или звуковую сигнализацию, а при необходимости отключает защищаемый объект.

Контакты 7—8 реле *P* защищают термистор от большого тока срабатывания (закорачивают его сопротивление). Переключатель *П* служит для переключения задания по температуре срабатывания через каждые 10 °С.

Полупроводниковые терморегуляторы типов ПТР-2, ПТР-3, ПТР-П предназначены для регулирования и сигнализации температуры газообразных и жидких сред.

Прибор типа ПТР-2 имеет четыре модификации, характеризующиеся диапазоном регулируемых температур, °С:

ПТР-2-02	от -30 до -5
ПТР-2-03	„ -10 „ +15
ПТР-2-04	„ +5 „ +35
ПТР-2-05	„ +30 „ +60

Общий вид прибора и его электрическая схема показаны на рис. 72.

Датчик прибора устанавливают в контролируемую среду, максимальное расстояние между прибором и датчиком может составлять 300 м.

Датчик прибора (термистор *R9*) включается в одно из плеч измерительного моста переменного тока, образованного сопротивлениями *R1, R2, R3, R4, R5, R8*.

При равенстве температуры «задания» и температуры регулируемого объекта мост уравновешен и сигнал на выходе моста равен нулю.

При отклонении температуры объекта от заданной изменяется сопротивление датчика, мост разбалансируется и на выходе его возникает сигнал, пропорциональный величине отклонения температуры, а фаза сигнала определяется знаком указанного отклонения температуры («больше заданной» или «меньше заданной»).

Прибор имеет две шкалы: верхнюю шкалу — температуру «задания», нижнюю — шкалу дифференциала температуры «задания» (т. е. точность регулирования температуры).

Температура «задания» устанавливается относительно ее шкалы переменным резистором *R3*. Сопротивления *R1, R2* являются подгоночными сопротивлениями диапазона шкалы.

Дифференциал устанавливается относительно шкалы переменным резистором *R4*. Величина сопротивления *R4* вводится в мостовую измерительную схему при срабатывании выходного реле *P*, поэтому сигнализация (регулирование) прибором, соответствующая моменту баланса моста, будет происходить не при температуре задания t_1 , а при температуре t_2 .

Величина разности температур $t_1 - t_2$ носит название дифференциала и определяется только величиной введенного сопротивления *R4*.

Сигнал с выхода измерительной диагонали моста поступает на входной каскад усилителя — транзистор *ПП1*, собранный по схеме с общим эмиттером. Стабильность работы входного каскада обеспечивают обратные связи — параллельная (*C1 — R7*) и последовательная (*R11*).

Фазочувствительность схемы определяется каскадом ФЧК (фазочувствительным каскадом), собранным на транзисторе ПП2. Если фаза питающего напряжения совпадает с фазой напряжения сигнала входа прибора, транзистор ПП2 открывается и конденсатор С3 заряжается до величины напряжения источника питания схемы. При этом на выходе ФЧК появляется выпрямленное напряжение, пропорциональное сигналу разбаланса мостовой измерительной схемы. Если фаза сигнала и фаза опорного напряжения не совпадают, транзистор ПП2 закрыт и напряжение на конденсаторе С3 равно нулю.

Пороговое устройство, собранное по схеме триггера Шмидта, управляется от сигнала фазочувствительного каскада. Пороговое устройство имеет два транзистора ПП3, ПП4 и электромеханическое реле Р.

При нулевом напряжении на конденсаторе С3 триод ПП3 закрыт, так как напряжение на его базе равно нулю.

В связи с тем, что коллектор ПП3 находится под высоким отрицательным напряжением, триод ПП4 открыт и находящееся в его коллекторной цепи реле Р срабатывает и замыкает свои контакты 21—22 в цепи сигнализации или управления.

При зарядке конденсатора С3 (когда изменяется знак разбаланса схемы) его напряжение отрицательной полярности прикладывается к базе триода ПП3, в базовой цепи ПП3 возникает ток, триод ПП3 открывается; при этом потенциал базы триода ПП4 возрастает и триод закрывается — обмотка реле Р обесточивается и его контакты в цепи сигнализации 21—22 размыкаются, а контакты 22—23 замыкаются.

Терморегуляторы типа ПТР нашли широкое применение в автоматизации холодильного и вентиляционного оборудования и позиционном регулировании температуры на различных технологических установках.

Контрольные вопросы

1. Объясните принцип действия манометрического термометра типа ТПГ-СК.
2. Какое значение имеет наполнитель в термосистеме манометрических термометров?
3. Охарактеризуйте термоэлектрические термометры градуировок ПП, ХК, ХА. Из каких металлов выполняют их электроды, какова область измерения температур и максимальная ТЭДС этих датчиков?
4. Дайте характеристику термометров сопротивления типов ТСМ и ТСП, перечислите их градуировки и сопротивление этих датчиков при $t=20^{\circ}\text{C}$.
5. Поясните принцип действия милливольтметра типа МР-64-02. Возможно ли соединение вторичного прибора и датчика температуры с различными градуировками?
6. Поясните принцип действия потенциометра типа КСП-2.
7. Какие органы настройки имеет полупроводниковый регулятор температуры типа ПТР?
8. Определите по рис. 71, будет ли работать схема АТВ-229 при обрыве датчика ТДП вследствие вибрации защищаемого оборудования?
9. По табл. 8 определите, какую ТЭДС развивает термоэлектрический термометр градуировки ПП при $t=800^{\circ}\text{C}$.

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ И РАЗРЕЖЕНИЯ

§ 1. Понятие о давлении и разрежении

Существуют три понятия давлений: атмосферное, избыточное и абсолютное.

Атмосферное давление $P_{\text{атм}}$ — это гидростатическое давление, оказываемое атмосферой на все находящиеся в ней предметы. За нормальное атмосферное давление принимают давление, равное 100 кПа (760 мм рт. ст.), такая величина называется физической атмосферой.

Избыточное давление $P_{\text{изб}}$ может быть положительным и отрицательным. Отрицательное давление называется разрежением или вакуумом. Под вакуумом понимают состояние воздуха или другого газа в замкнутом объеме, если давление в нем меньше атмосферного.

Абсолютное давление $P_{\text{абс}}$ — сумма атмосферного и избыточного давлений: $P_{\text{абс}} = P_{\text{изб}} + P_{\text{атм}}$.

В Международной системе единиц (СИ) давление выражается в паскалях (Па). $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$, в системе СГС — в дин/см². Вне-системные единицы давления, которые используются для технических измерений: кгс/см², мм вод. ст., мм рт. ст.

В табл. 9 приведены основные соотношения между различными единицами измерения давления.

Приборы для измерения положительного избыточного давления называются манометрами, для измерения отрицательного избыточного давления (вакуума) — вакуумметрами. Комбинированные приборы для измерения положительного и отрицательного избыточных давлений носят название мановакуумметры.

По принципу действия приборы для измерения давления и разрежений подразделяются на следующие типы: жидкостные, в которых давление или разрежение уравнивается высотой столба жидкости; пружинные, в которых давление уравнивается силой упругой деформации чувствительного элемента; поршневые, в которых давление уравнивается силой, действующей на поршень определенного сечения; комбинированные, принцип действия которых имеет смешанный характер; электрические, в которых используется изменение э.д.с. термомпары, явление электрического разряда и изменение ионизации газа.

По своему назначению приборы подразделяются на рабочие, контрольные и образцовые.

При монтаже и установке приборов давления необходимо предусмотреть: защиту прибора и его чувствительного элемента от влияния агрессивных сред, вибрации, высоких температур, высоких пульсаций измеряемого давления; устройство сброса конденсата при измерениях давлений влажных газов; исключение возникновения газовых мешков в соединительных линиях при измерении

давления жидкости, а при измерении давления газов—гидравлических пробок; исключение влияния динамического напора контролируемой среды.

При измерении давления агрессивных жидкостей для защиты прибора у места отбора импульса должен быть установлен разделительный сосуд.

Для измерения давления агрессивных, кристаллизующих сред, выделяющих осадки и несущих взвешенные твердые частицы для этих целей, используют мембранные разделители типа РМ.

Действие комплекта «манометр—мембранный разделитель» основано на использовании упругих деформаций чувствительных элементов прибора и разделителя при воздействии на них измеряемого давления.

Внутреннее пространство манометра и разделителя заполняют рабочей жидкостью, которая служит для передачи давления от мембраны разделителя к манометру.

При измерении давлений агрессивных сред (щелочей и кислот) для защиты приборов используют разделительные сосуды, внутреннюю полость которых заполняют неагрессивной жидкостью: водой, легкими минеральными маслами, этиловым спиртом, глицерином и т. д.

§ 2. Жидкостные и мембранные приборы

Жидкостные трубные приборы нашли широкое применение в лабораторных и местных технических измерениях давления, разрежения и разности давлений.

Наиболее распространенным прибором является U-образный манометр (рис. 73), в котором в качестве рабочей жидкости используется вода, ртуть, масло или спирт. Погрешность таких манометров составляет ± 2 мм столба рабочей жидкости и не зависит от диаметра трубок. Прибор имеет U-образную стеклянную трубку и шкалу с равномерными делениями. Цена наименьшего деления шкалы составляет 1 мм. Рабочая жидкость заполняется до нулевой отметки шкалы. Принцип действия U-

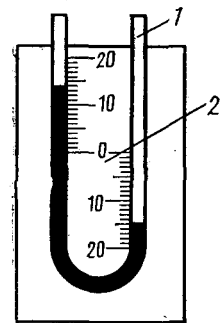


Рис. 73. Манометр U-образный:

1 — трубка, 2 — шкала

образных манометров основан на законе сообщающихся сосудов. Если изогнутую и открытую с обоих концов U-образную полую трубку залить жидкостью, то уровни жидкости в обоих сосудах будут одинаковыми. Под действием измеряемого давления, подключенного к одному из концов прибора, образуется разность уровней жидкости, по которой определяется значение измеряемого давления. U-образный манометр может измерять разность измеряемого и атмосферного давлений, а также разность двух подведенных измеряемых давлений. В первом случае одна из трубок открыта и сообщается с атмосферой, в другом — измеряемые давления подводятся к обоим трубкам.

Для измерений малых давлений и разрежений применяют жидкостные приборы ТНЖ и ММН.

Тягонапомер жидкостный типа ТНЖ (рис. 74) выпускают двух видов: для настенного и щитового монтажа. Принцип действия прибора основан на вытеснении рабочей жидкости из сосуда в измерительную наклонную трубку и уравнивании измеряемого давления или разрежения статическим давлением столба жидкости в наклонной трубке.

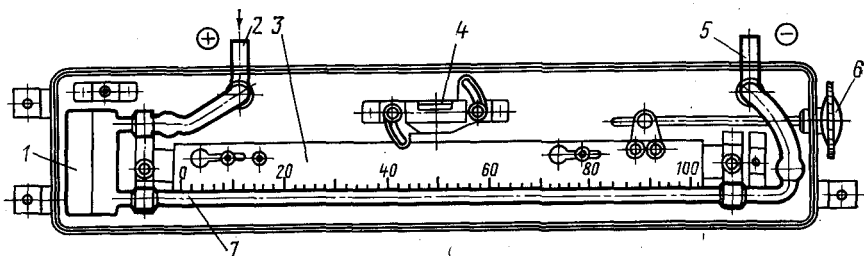


Рис. 74. Тягонапомер типа ТНЖ

Прибор состоит из стеклянного сосуда 1 с измерительной трубкой 7 и шкалы 3. На корпусе прибора имеется уровень 4, с помощью которого прибор устанавливается в рабочее положение. Прибор заполняют этиловым спиртом до нулевой отметки шкалы. Так как при заполнении прибора довольно трудно совместить уровень жидкости с нулевой отметкой шкалы, то на приборе предусмотрено перемещение шкалы вдоль наклонной стеклянной трубки с помощью маховичка 6. С задней стороны прибора имеются два штуцера 2 и 5: со знаком «+» для измерения давления, со знаком «-» для измерения разрежения.

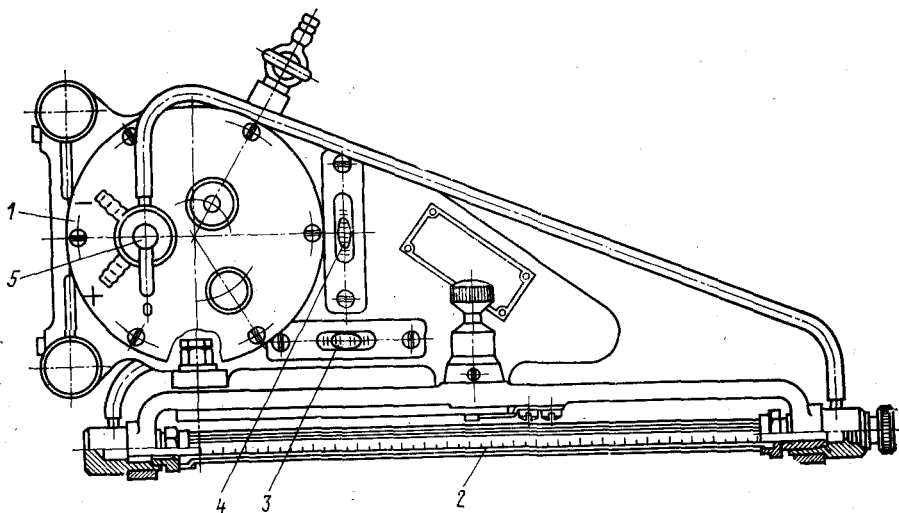


Рис. 75. Микроманометр типа ММН

При изменении температуры спирт изменяет свою плотность, поэтому действительное значение измеряемого давления находится по формуле: $H_d = 10 \cdot H_v \gamma / 0,85$, где H_d — действительное значение давления (разрежения), Па, H_v — отсчет по шкале тягонапоромера, γ — истинная плотность спирта, 0,85 — нормальная плотность спирта.

Приборы типа ТНЖ применяют для измерений давления (разрежения) в пределах от 0 до 1600 Па (0—160 мм вод. ст.).

Микроманометр с наклонной трубкой ММН (рис. 75) является однострубным чашечным манометром и предназначен для измерения давлений, разрежений и разности давлений (перепадов давлений) неагрессивных газов, для лабораторных точных замеров и проверки приборов.

Прибор для установки в горизонтальное положение имеет два уровня 3, 4. При измерениях чашка 1 заполняется этиловым спиртом до нулевого деления шкалы уровня 2. Прибор к точкам замера присоединяют через трехходовой кран 5. Кронштейн с измерительной трубкой можно устанавливать в любое из пяти положений, которым соответствуют значения постоянной $K=0,2$; $K=0,3$; $K=0,4$; $K=0,6$; $K=0,8$.

Длина шкалы 2 составляет 250 мм, цена наименьшего деления шкалы равна 1 мм.

Давление, измеряемое микроманометром с наклонной трубкой, определяется по формуле $P = 10 \cdot N \gamma K$, где P — измеряемое давление, Па, N — длина столба жидкости по шкале, мм, γ — плотность этилового спирта ($\gamma=0,85$), K — коэффициент наклона трубки.

Микроманометры выпускают классов точности 0,5 и 1,0. Максимальное значение измеряемого давления 20 000 Па (2000 мм вод. ст.).

Для измерения давления, разрежения и разности давлений выпускают стрелочные приборы — напоромеры, тягомеры и тягонапоромеры НМ-П1, ТМ-П1, ТНМ-П1, которые устанавливают на щитах, а также могут использоваться как местные приборы.

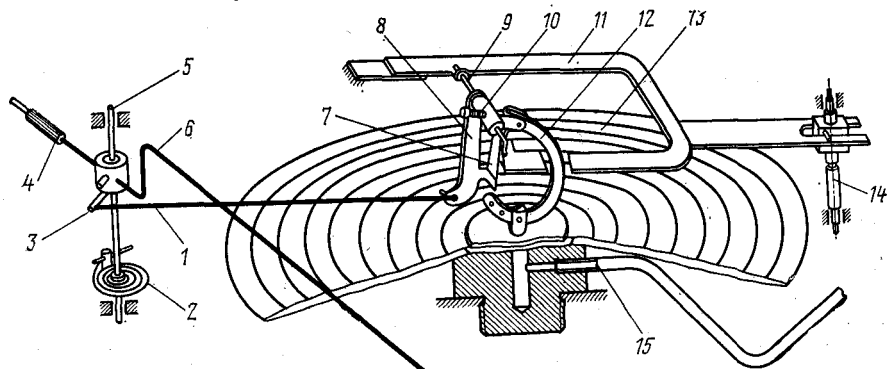


Рис. 76. Напоромер типа НМ-П:

1 — тяга, 2, 7 — пружины, 3, 8 — рычаги, 4 — противовес, 5 — ось, 6 — стрелка, 9 — винт, 10 — стойка, 11 — рамка, 12 — поводок, 13 — мембранная коробка, 14 — корректор, 15 — штуцер

В табл. 10 указаны основные модификации мембранных приборов для измерения давления и разрежения.

Чувствительным элементом напоромера (рис. 76) является мембранная коробка 13, состоящая из двух спаянных между собой мембран. Измеряемое давление подводится к штуцеру 15, соединенному с внутренней полостью мембранной коробки. Под действием разности атмосферного и измеряемого давлений коробка 13 изменяет свой объем, это вызывает перемещение жесткого центра верхней мембраны, которое через поводок 12 и рычаг 8 передается на тягу 1 и ось 5 измерительной стрелки 6.

Изготовление мембранного блока со строго линейной характеристикой, т. е. пропорциональной зависимостью перемещения верхнего центра от измеряемого давления, практически невозможно из-за сложности изготовления мембраны. Поэтому для исправления нелинейности в приборе предусмотрена угловая коррекция в рычажном механизме установкой стрелки на нуль корректором 14. Запаздывание показаний прибора составляет не более 4 с.

§ 3. Пружинные манометры

Пружинные манометры (рис. 77) относятся к наиболее распространенным приборам измерения давления. Они изготавливаются с трубчатой одновитковой и многовитковой пружинами. По классу точности манометры подразделяются на технические, контрольные и образцовые.

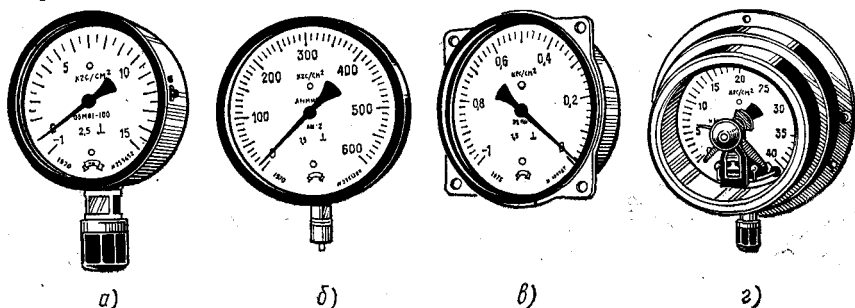


Рис. 77. Общий вид манометров:

а — типа ОБМВ, б — типа АМУ, в — типа ВОЩ, г — типа ВЭ-16 рб

Технические манометры имеют класс точности 1,5; 2,5; 4,0, контрольные — 0,6; 1,0, образцовые — 0,16; 0,25; 0,4. По устройству и принципу действия манометры всех типов и моделей подобны друг другу. Верхние пределы измерений манометров в зависимости от их типов составляют: 0,06; 0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,6; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,0; 10; 16; 25; 40; 60; 100 МПа (0,6; 1; 1,6; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 40; 60; 100; 160; 250; 400; 600; 1000 кгс/см²).

Манометр (рис. 78, а) имеет резьбовой штуцер 7 для подключения, трубчатую пружину 5, соединенную со штуцером, стрелку 1 и кинематический узел, состоящий из поводка 6, зубчатого сектора 4 и зубчатой шестерни (трибки) 2, закрепленной соосно со

стрелкой, и противодействующей спиральной пружины 3. Под действием избыточного измеряемого давления трубчатая пружина деформируется (в пределах упругих деформаций), стремясь распрямиться. При этом свободный конец пружины, перемещаясь совместно с поводком 6, разворачивает относительно оси зубчатый сектор, который в свою очередь поворачивает на определенный угол зубчатую шестеренку 2 и стрелку прибора.

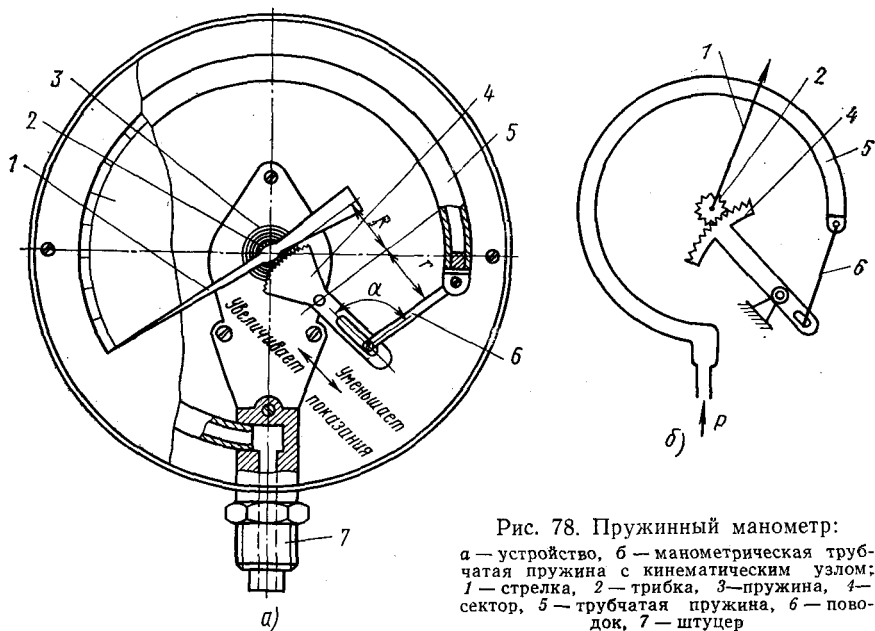


Рис. 78. Пружинный манометр:

а — устройство, б — манометрическая трубчатая пружина с кинематическим узлом: 1 — стрелка, 2 — трибка, 3 — пружина, 4 — сектор, 5 — трубчатая пружина, 6 — поводок, 7 — штуцер

Трубчатая пружина 5 (рис. 78, б) в сечении имеет эллипсовидную или овальную форму, которая под действием измеряемого давления газа или жидкости стремится к окружности. В металле возникают механические напряжения, приводящие к деформации пружины, вследствие этого увеличивается малая ось эллипса трубчатой пружины и сечение трубки будет стремиться к окружности.

При подаче на вход манометра избыточного давления трубка разжимается, а при подаче разрежения — сжимается.

Обычно упругие деформации измерительной пружины незначительны (до $8-10^\circ$). Для искусственного повышения чувствительности прибора устанавливается указанный выше кинематический узел, позволяющий стрелке совершать поворот в зависимости от величины деформации от нуля до максимума шкалы. При отключении измеряемого давления упругая деформация пружины исчезает, пружина восстанавливает свое первоначальное положение и стрелка прибора устанавливается на нулевую отметку шкалы. Наиболее распространенными приборами такого типа являются манометры ОБМ, МОШ и МТ, шкалы которых составляют 270° .

Манометры ОБМ, МОШ, МТ могут применяться для измерения избыточных давлений жидких и газообразных сред. Манометры типов ГМ (газовый), АМ (аммиачный), МК (кислородный) являются специальными газовыми манометрами.

Кислородные манометры имеют на шкале надпись: «Кислород», «Масло — опасно», водородные манометры — «Водород», ацетиленовые манометры — «Ацетилен».

Особую опасность представляет собой эксплуатация на кислородных линиях обычных манометров или кислородных манометров со следами масел. Кислород как окислитель резко повышает температуру масла, при этом может произойти местный взрыв. Поэтому на кислородных линиях устанавливают только обезжиренные кислородные манометры, а резервные манометры должны иметь на штуцерах специальные заглушки для предотвращения попадания масел.

Манометр сверхвысоких давлений типа СВ применяется для измерения давлений с верхними пределами измерений от 160 до 1000 МПа (1600—10 000 кгс/см²).

Как показывающие, так и самопишущие манометры не рекомендуется устанавливать в местах, имеющих значительные вибрации, а также на отборах с резкими знакопеременными нагрузками, так как это вызывает износ передаточного механизма, остаточную деформацию упругого элемента (чувствительного элемента) и увеличение зазоров (люфт) в шарнирных элементах прибора.

При измерении давления жидкостей необходимо учитывать влияние столба жидкости, находящейся в соединительной линии, если прибор (манометр) находится ниже или выше отбора давления.

Гидростатическое давление, создаваемое измеряемой средой в соединительной линии, определяется уравнением: $P_n = \gamma H$, где γ — удельный вес жидкости, кгс/м³, H — перепад давления (разница в высоте между отбором давления и непосредственно местом установки манометра), м.

В таких случаях манометр показывает суммарное давление — давление, измеряемое в месте отбора, и гидростатическое давление: $P_m = P_n + P_{из}$, где P_m — показания манометра, $P_{из}$ — измеряемое давление, P_n — гидростатическое давление.

Пример 1. Манометр, измеряющий давление пара, установлен ниже точки отбора давления на 10 м и имеет показания 8 кгс/см². Удельный вес конденсата при $t=20^\circ\text{C}$ $\gamma=1000$ кгс/м³. Определить действительное значение давления пара $P_{из}$.

Определим значение гидростатического давления: $P_n = \gamma H = 1000 \cdot 10 = 10\,000$ кгс/м² = 1,0 кгс/см² (98 кПа).

Тогда действительное давление пара: $P_{из} = P_m - P_n = 8 - 1 = 7$ кгс/см² (686 кПа).

Пример 2. Определить предельную высоту установки манометра над местом отбора давления при измерении давления масла в пределах 0,5 кгс/см², а также определить показания прибора, соответствующие заданному значению 0,5 кгс/см². Удельный вес при $t=20^\circ\text{C}$ $\gamma=800$ кгс/м³.

1. Определим предельную высоту установки манометра

$$H_{\text{макс}} = \frac{P_{\text{н. мин}}}{\gamma} = \frac{0,5 \cdot 10^4}{800} = 6,25 \text{ м.}$$

Примем практическую высоту $H < H_{\text{макс}} = 5 \text{ м.}$

2. Определим при высоте 5 м гидростатическое давление: $P_{\text{н}} = \gamma H = 800 \cdot 5 = 4000 \text{ кгс/м}^2 = 0,4 \text{ кгс/см}^2 (39,2 \text{ кПа}).$

3. Определим показания прибора: $P_{\text{м}} = P_{\text{н мин}} - P_{\text{н}} = 0,5 - 0,4 = 0,1 \text{ кгс/см}^2 (9,8 \text{ кПа}).$

Следовательно, при определении действительного значения измеряемого давления к показаниям манометра требуется добавлять гидростатическое давление $P_{\text{н}} = 0,4 \text{ кгс/см}^2 (39,2 \text{ кПа}).$

При измерении пульсирующих давлений на работающем технологическом оборудовании (компрессорах, ресиверах и др.) в штуцер манометра устанавливают специальное демпфирующее (сглаживающее) устройство, представляющее собой малое калибровочное отверстие, диаметр которого зависит от плотности измеряемой среды жидкости, газа или фракции и абсолютной величины измеряемого избыточного давления.

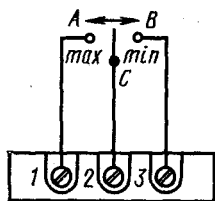


Рис. 79. Электрическое контактное устройство манометров:

1 — контакт максимального давления, 2 — подвижный контакт, связанный со стрелкой прибора, 3 — контакт минимального давления

Для проверки рабочих манометров и вакуумметров на месте их установки применяют манометры типов МКО и ВКО. Пружинные образцовые манометры и вакуумметры типов МО и ВО применяют для стендовой проверки технических приборов.

Некоторые типы манометров имеют электрическое сигнальное устройство, с помощью которого можно осуществлять сигнализацию заданных пределов давлений. Электрическое контактное устройство манометров можно применять в схемах автоматической сигнализации и контроля технологических параметров, автоматическом управлении и защите оборудования.

На рис. 79 показано сигнальное устройство электроконтактных манометров. Относительно шкалы прибора установлены два контакта задания давления «минимум» А и «максимум» В, выведенные на клеммы 1, 3. С помощью специального устройства эти контакты можно перемещать относительно шкалы прибора, устанавливая требуемые задания сигнализации.

С измерительной стрелкой прибора связан подвижный контакт сигнализации С, выведенный на клемму 2. При достижении заданного давления замыкаются соответствующие контакты А — С; В — С, образуя цепь 1—2; 2—3 сигнализации.

Приборы, имеющие сигнальное устройство, называются электроконтактными манометрами. Наиболее распространенными приборами являются: ЭКМ — электроконтактный манометр, ЭКВ —

электроконтактный вакуумметр, ЭКМВ — электроконтактный мановаккуумметр, ВЭ-16рб — электроконтактный манометр для эксплуатации во взрывоопасных помещениях.

§ 4. Самопишущие манометры

Самопишущие приборы предназначены для измерения и записи на диаграмме измеряемого давления или разрежения. Основные типы и технические характеристики приборов приведены в табл. 11.

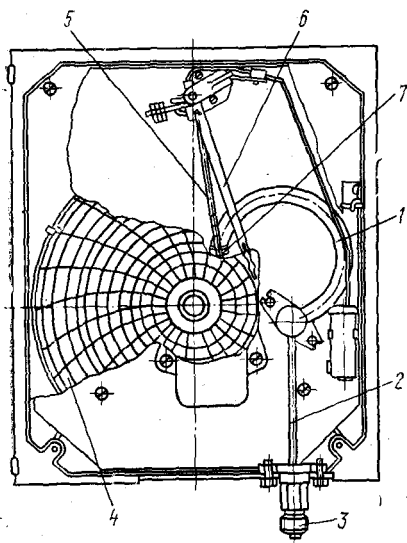


Рис. 80. Самопишущий трубчатый манометр типа МТС

Принцип действия пружинных приборов основан на уравновешивании измеряемого давления силой упругой деформации трубчатой пружины. Раскручивание пружины, вызванное изменением величины измеряемого давления, передается с помощью кинематического узла на перо прибора, которое записывает на диаграмме величину измеряемого давления.

Устройство самопишущего трубчатого манометра типа МТС показано на рис. 80. Измеряемое давление через штуцер 3 и трубку 2 поступает в полость трубчатой пружины 1. Под действием упругой деформации начинается перемещение свободного конца трубки, которое через тягу 5 и кривошип передается на перо 6, записывающее величину измеряемого давления на диаграмму 4.

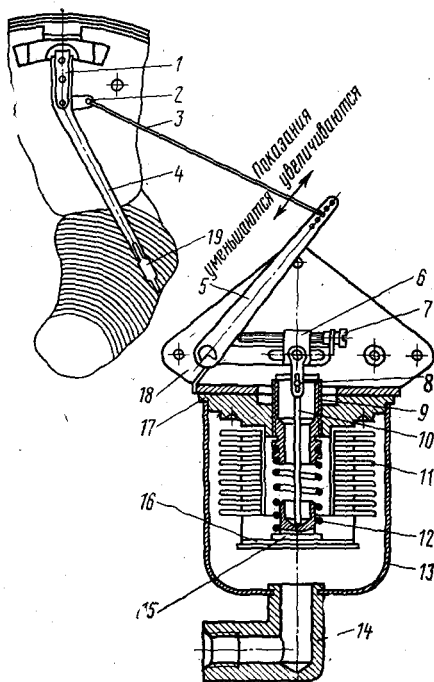


Рис. 81. Самопишущий сифонный манометр типа МСС:

1 — мостик пера, 2 — рычаг, 3 — тяга, 4 — держатель пера, 5 — поводок, 6 — кулиса, 7 — регулировочный винт, 8 — винт, 9 — втулка, 10 — стержень, 11 — сиффон, 12 — пружина, 13 — корпус, 14 — штуцер, 15 — гнездо, 16 — дно сиффона, 17 — основание сиффона, 18 — кронштейн, 19 — перо

Один конец трубчатой пружины 1 закреплен на корпусе прибора с трубкой 2 и штуцером 3 для подключения измеряемого давления, второй конец опаян, закрыт наконечником 7 и свободно перемещается под действием измеряемого давления.

Принцип действия самопишущего сифонного манометра типа МСС (рис. 81) основан на уравнивании измеряемого давления силой упругой деформации сифона 11 и винтовой пружины 12. Измеряемое давление, подаваемое на вход сифона 11, попадает в полость сифонного механизма и вызывает перемещение дна сифона 16, которое через передаточный механизм передается на перо 19 прибора.

Наиболее распространенными типами сифонных приборов являются самопишущие сифонные манометры МСС-711 и МСС-712 с пределами измерения от 0 до 245 кПа (2,5 кгс/см²).

Вращение диаграмм может осуществляться с помощью часового механизма или синхронного микроэлектродвигателя. На диаграмме нанесен отсчет времени, с помощью которого можно определить измеряемое давление относительно времени работы технологического оборудования.

Ряд самопишущих приборов выпускают с электрическим сигнальным устройством. Приборы с часовым приводом используют во взрывоопасных помещениях.

§ 5. Преобразователи давления и разрежения

Государственной системой приборов (ГСП) разработано три типа унифицированных преобразователей давления: пневмосиловой (рис. 82, а), электросиловой (рис. 82, б), частотно-силовой (рис. 82, в).

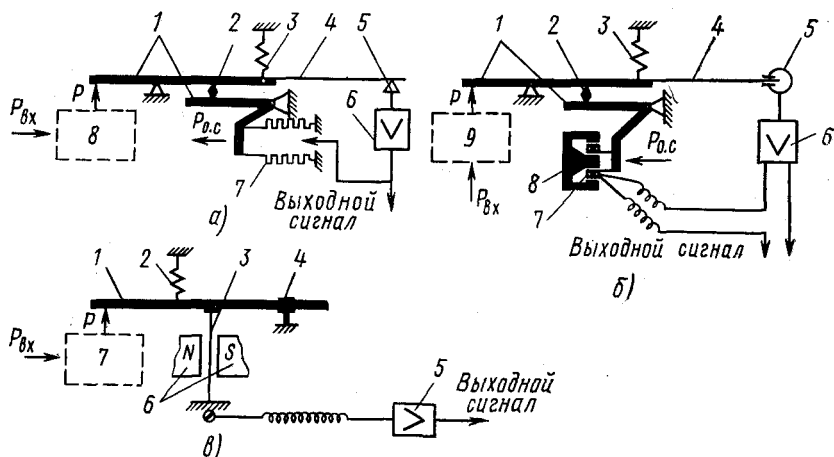


Рис. 82. Принципиальная схема унифицированного преобразователя давления:
а — пневмосилового: 1 — рычаг, 2 — корректор, 3 — противодействующая пружина, 4 — заслонка, 5 — сопло, 6 — усилитель, 7 — сифон обратной связи, 8 — измерительный блок;
б — электросилового: 1 — рычаг, 2 — корректор, 3 — противодействующая пружина, 4 — флажок, 5 — индикатор рассогласования, 6 — усилитель, 7 — обмотка, 8 — электромагнитное устройство, 9 — измерительный блок; в — частотно-силовой: 1 — рычаг, 2 — противодействующая пружина, 3 — якорь, 4 — фиксатор, 5 — усилитель, 6 — постоянный магнит, 7 — измерительный блок

Приборы состоят из двух основных элементов: измерительного блока и преобразователя перемещения рычага измерительного блока в выходной стандартный сигнал — пневматический, электрический или частотный. Такие преобразователи предназначены для работы в системах автоматического контроля и регулирования давления.

Принцип действия пневмосилового преобразователя (рис. 82, а) заключается в следующем. В измерительном блоке 8 измеряемое давление преобразуется в усилие P , которое уравнивается усилием сильфона обратной связи 7. При изменении давления происходит незначительное перемещение рычага 1 и заслонки 4. При этом сопло 5 и заслонка 4 преобразуют это перемещение в управляющий сигнал давления сжатого воздуха, поступающего на усилитель 6. Выходной пневматический сигнал с усилителя поступает одновременно в линию дистанционной передачи и в сильфон обратной связи 7. Питание усилителя 6 производится сжатым воздухом с давлением 137 кПа (1,4 кгс/см²), а давление выходного сигнала усилителя изменяется в пределах 19,6—98 кПа (0,2—1 кгс/см²).

Принцип действия электросилового (рис. 82, б) и частотно-силового (рис. 82, в) преобразователей подобен действию пневмосилового преобразователя. Так, в электросиловом преобразователе при изменении усилия P происходит незначительное перемещение рычажной системы 1 и управляющего флажка 4 дифференциально-трансформаторного индикатора рассогласования 5. При возникновении перемещения флажка в индикаторе генерируется напряжение переменного тока, которое усиливается электронным усилителем 6. Выходной сигнал с усилителя поступает в линию дистанционной передачи и в обмотку 7 электромагнитного устройства 8, являющегося обратной связью, уравнивающей входное усилие $P_{вх}$. Величина выходного тока преобразователя составляет 0—5 мА или 0—20 мА постоянного тока.

В пневмосиловом преобразователе (рис. 82, а) элементом, преобразующим входной сигнал давления в выходной пневматический сигнал, является пневмореле (рис. 83).

Воздух под давлением поступает в камеру 1, затем через клапан 2 — в камеры 5, 7. Из этих камер через дроссель 9 воздух проходит в камеру 8 и отверстие сопла.

Камера 8 разделена от камер 5 и 7 прорезиненной мембраной.

При изменении давления (повышении или понижении) в линии сопла и камере 8 открывается соответствующий клапан 2 или 6, вследствие чего изменяется давление воздуха в камерах 5 и 7 и на выходе пневмореле. Это давление поступает на сильфон обратной связи и является выходным сигналом датчика.

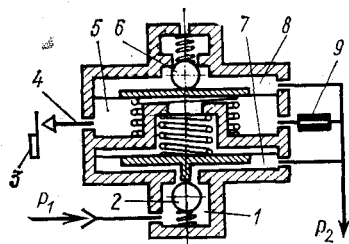


Рис. 83. Пневматическая схема пневмореле:

1, 5; 7, 8 — камеры, 2, 6 — клапаны, 3 — заслонка, 4 — сопло, 9 — дроссель

При возрастании измеряемого давления выходной сигнал изменяется пропорционально изменению давления.

Расчетная величина пневматического сигнала пневмопреобразователя для любого значения измеряемой величины определяется выражением: $P_{\text{вых}} = 0,8 \cdot [A/(A_K - A_H)] + 0,2$, где 0,2 и 0,8 — постоянные величины (константы), $P_{\text{вых}}$ — давление выхода, соответствующее заданному значению измеряемой величины, Па (кгс/см²), A — значение измеряемой величины (в единицах измеряемого параметра), A_H , A_K — значения измеряемого параметра, соответствующие началу и концу шкалы прибора (в единицах измеряемого параметра).

Для подключения преобразователей системы ГСП к вторичным приборам, а также для питания приборов должны использоваться полиэтиленовые трубки, пневмокабели типа ТУМПУХ и медные трубки с внутренним диаметром 6 мм.

Для обеспечения обеспыливания питающего воздуха устанавливают фильтр, а для регулировки требуемого значения давления в пределах 120—140 кПа (1,2—1,4 кгс/см²) — редуктор. Наиболее распространенными типами приборов с пневмовыходом системы ГСП являются напоромеры сильфонные НС-П, манометры сильфонные ТС-П, вакуумметры сильфонные ВС-П и др.

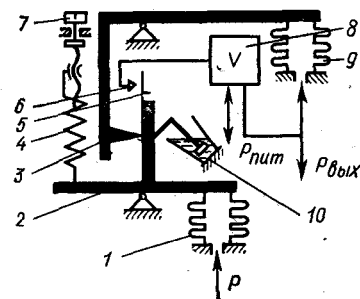
Рис. 84. Преобразователь пневмосилового типа МС-П1

Приборы данной группы должны быть защищены от вибрации, атмосферных осадков и перегрева. Предельное расстояние между преобразователем и вторичным прибором составляет 300 м с внутренним диаметром импульсной линии 6 мм.

При низких температурах в трубе малого сечения, служащей для подвода измеряемой среды к чувствительному элементу, выделяется конденсат (влага), которая при определенной температуре загустевает либо замерзает, тем самым затрудняя передачу измеряемого давления к чувствительному элементу. В связи с этим необходимо выделять конденсат из измеряемой среды, исключать кристаллизацию жидкостей внутри импульсной линии и эксплуатировать приборы в отапливаемых помещениях.

Принцип действия прибора (рис. 84) основан на пневматической силовой компенсации. Измеряемое давление P , подаваемое в сильфон 1, преобразуется на передаточном механизме (Т-образном и Г-образном рычагах 2, 3) в пропорциональное усилие, которое автоматически уравнивается усилием, развиваемым давлением воздуха в сильфоне обратной связи 9.

Усилие, действующее на передаточный механизм, вызывает незначительное перемещение заслонки 5 относительно неподвижного сопла 6.



Возникающее в линии сопла давление воздуха поступает в пневмореле 8 и сильфон обратной связи 9. Это же давление одновременно является выходным сигналом прибора. Пружина 4 и винт 7 представляют собой корректор нулевого значения выходного давления.

В приборе установлен жидкостный демпфер (успокоитель) 10, устраняющий автоколебания выходного сигнала.

Сильфонный манометр с пневмовыходом типа МС-П (рис. 85) является преобразователем давления системы ГСП.

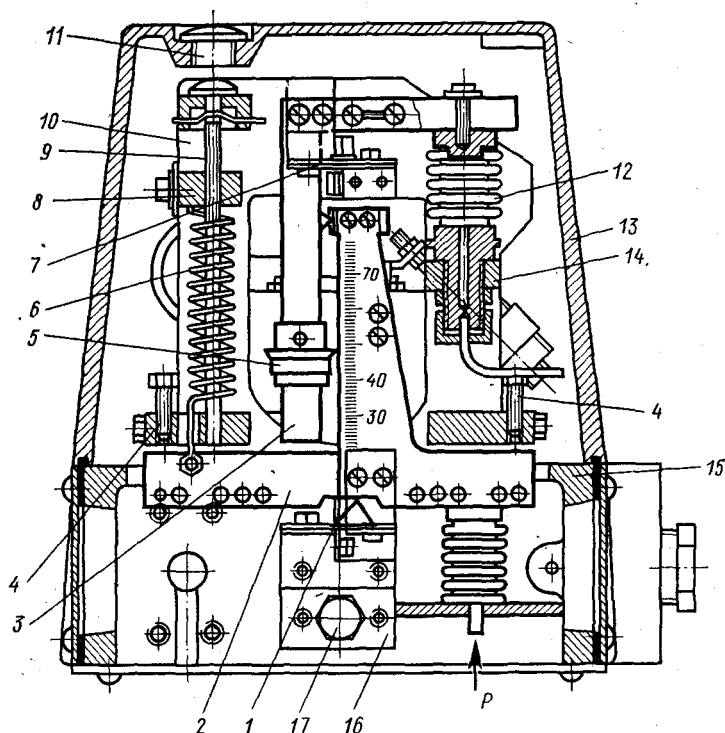


Рис. 85. Сильфонный манометр с пневмовыходом типа МС-П:

1, 7 — перекрестие ленточное, 2 — рычаг Т-образный, 3 — рычаг Г-образный, 4 — упор, 5 — опора подвижная, 6 — пружина корректора нуля, 8, 14, 15 — колодки, 9 — винт корректора нуля, 10 — плата, 11 — заглушка, 12 — сильфон обратной связи, 13 — кожух, 15 — рама, 17 — болт конический

Пневмосиловой преобразователь имеет следующие основные элементы: передаточный механизм, сильфон обратной связи, индикатор рассогласования и пневмореле.

Передаточный механизм обеспечивает изменения передаточного отношения в 10 раз. Усилие от Т-образного рычага 2 передается рычагу 3 посредством опоры 5. Рычаги 2 и 3 установлены на опорах, выполненных в виде ленточных перекрестий 1, 7.

Сильфон обратной связи 12 жестко зафиксирован на колодке 14 и присоединен к Г-образному рычагу 3.

При нулевом значении измеряемого давления выходной сигнал прибора должен иметь стандартное нулевое значение, т. е. 0,02 МПа (0,2 кгс/см²); если сигнал не соответствует данному значению, необходимо выставить его с помощью корректора «О» — вращением винта 9 переместить колодку 8 и тем самым изменить напряжение пружины 6.

При подаче на прибор избыточного давления, равного номинальному, выходной сигнал должен установиться равным 0,1 МПа (1 кгс/см²) с допустимой погрешностью.

Если этот сигнал выходит из допустимого значения, необходимо произвести настройку диапазона измерения перемещением подвижной опоры 5 вдоль Т-образного рычага 2. Точную подстройку диапазона производят плавным вращением выступающего кольца, находящегося на опоре 5.

Пневмореле и передаточный механизм с устройством обратной связи установлены на раме 15 и закрыты кожухом 13, заглушка 11 закрывает отверстие корректора нуля.

Индикатор рассогласования (рис. 86) выполнен по системе «сопло — заслонка». Заслонка 4 закреплена на рычаге 7. При измерении давления заслонка 4 перемещается относительно сопла 3. При повышении давления заслонка 4 плотно закрывает отверстие сопла и оста-

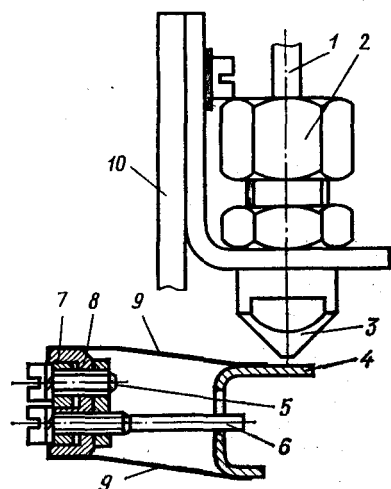


Рис. 86. Индикатор рассогласования:

1 — капилляр, 2 — гайка накидная, 3 — сопло, 4 — заслонка, 5 — винт, 6 — винт специальный, 7 — рычаг Т-образный, 8 — скоба, 9 — пружины плоские, 10 — плата

ется неподвижной при дальнейшем перемещении рычага 7 пневмопреобразователя.

Перепад давления на дросселе, определяемый площадью мембраны и силой натяжения пружин, сохраняется постоянным, тем самым уменьшается влияние давления питания воздуха на изменение выходного сигнала.

Типы и модели датчиков давления системы ГСП с электрическим и пневматическим выходным сигналом представлены в табл. 25.

Приборы унифицированной системы ГСП могут быть пружинными и сифонными.

Пружинный манометр с пневматическим сигналом имеет обозначение МП-П; с электрическим токовым сигналом МП-Э и с электрическим частотным сигналом МП-Ч.

Бесшкальным датчиком давления является манометрический преобразователь с дистанционной электрической передачей М1М (рис. 87). Он используется в системах дистанционного контроля

и регулирования давления. Приборы в зависимости от модификации имеют верхний предел измерения от 0,1 до 160 МПа (1 — 1600 кгс/см²). Такие манометры служат для преобразования измеряемого давления в унифицированный электрический сигнал постоянного тока от 0 до 5 мА, который можно ввести в электронную машину, электронный регулятор или регулирующий автоматический прибор. Манометр имеет класс точности 1,0.

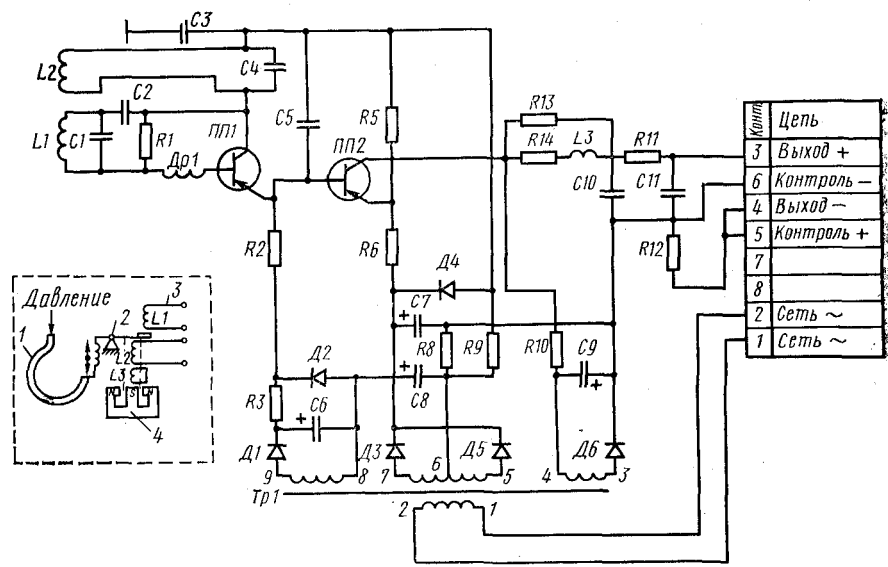


Рис. 87. Электрическая схема манометрического преобразователя МИМ:
1 — манометрическая трубка, 2 — коромысловое устройство, 3 — катушки индуктивности генератора, 4 — постоянный магнит

При подаче измеряемого давления во внутреннюю полость манометрической трубки 1 происходит ее деформация, в результате которой поворачивается коромысловое устройство 2. Противоположный конец коромысла представляет собой металлическую площадку (флажок), который находится в высокочастотном поле катушки 3 (L_1), входящей в контур генератора, выполненного на транзисторе ПП1. При перемещении коромысла флажок изменяет свое положение относительно катушки L_1 , вследствие чего изменяется ее индуктивность и ток базы транзистора ПП1 и генератора. При изменении режима генератора изменяется коллекторный ток транзистора ПП2, что, в свою очередь, приводит к изменению тока базы транзистора ПП2, а следовательно, изменяется ток выхода преобразователя.

В цепи коллектора транзистора ПП2 включена катушка обратной связи L_3 , которая укреплена на коромысле в поле постоянного магнита. Выходной ток транзистора ПП2, проходя через индуктив-

ность L_3 , создает момент обратной связи, противоположный моменту, создаваемому при деформации манометрической пружины. Коромысло будет перемещаться до тех пор, пока момент обратной связи не будет равен моменту деформации пружины, при этом устанавливается определенное значение тока выхода преобразователя.

За счет обратной связи (индуктивности L_3) обеспечивается однозначное соответствие между деформацией манометрической трубки и величиной тока выхода преобразователя.

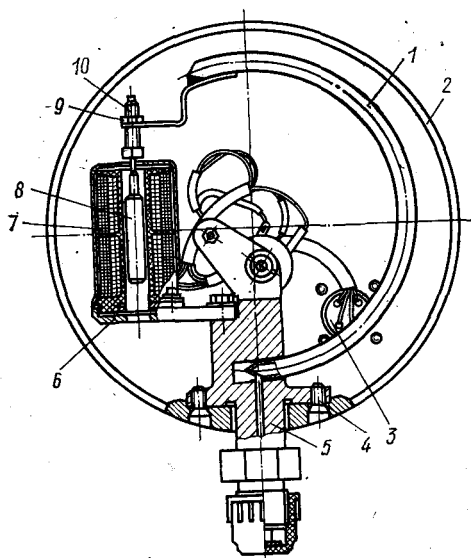


Рис. 88. Устройство преобразователя типа МЭД:

1 — манометрическая пружина, 2 — корпус, 3 — разъем, 4 — винт, 5 — держатель, 6 — плата, 7 — катушка, 8 — сердечник, 9 — поводок, 10 — специальный винт

Бесшкальный преобразователь давления типа МЭД используется для непрерывного преобразования давления (разрежения) в унифицированный выходной сигнал переменного тока, основанный на изменении взаимной индуктивности датчика.

Принцип действия прибора основан на использовании деформации упругого чувствительного элемента при воздействии на него измеряемого давления.

Упругим чувствительным элементом прибора (рис. 88) является трубчатая манометрическая пружина 1, смонтированная в держателе 5. Свободный конец трубчатой пружины перемещается пропорционально давлению (разрежению), подаваемому на вход прибора.

Сердечник 8 дифференциального трансформатора связан со свободным концом трубчатой пружины специальным винтом 10.

Катушку 7 дифференциального трансформатора монтируют планкой 6 к держателю 5, на котором установлены постоянные и переменные сопротивления.

Катушка 7 закрыта экраном; на корпусе преобразователя установлен разъем 3 для подключения регистрирующего прибора.

Первичная обмотка преобразователя МЭД питается переменным током 125 мА от регистрирующего прибора.

При подаче в прибор давления (разрежения) свободный конец пружины перемещается и изменяет положение сердечника дифференциального трансформатора. При этом изменяется величина и фаза напряжения на вторичной обмотке трансформатора, которое подается на регистрирующий прибор.

Как правило, бесшкальные преобразователи типа МЭД работают в комплекте со вторичными регистрирующими приборами с дифференциально-трансформаторной схемой типа КСД, ДСР.

Пневматические вторичные приборы системы «Старт» (рис. 89) широко используют для работы с унифицированными аналоговыми пневматическими сигналами в пределах от 20 до 98 кПа (0,2 — 1,0 кгс/см²).

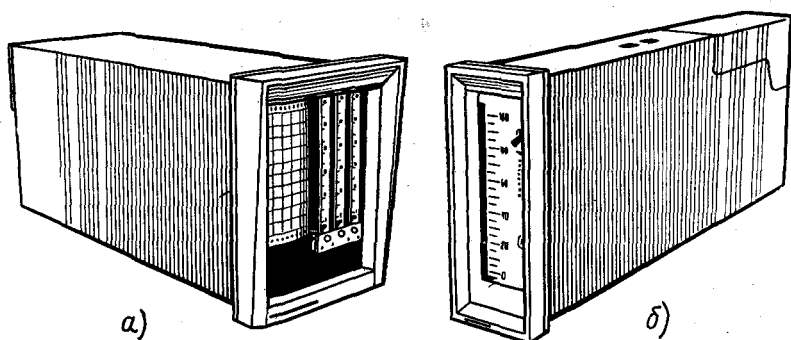


Рис. 89. Общий вид вторичных пневматических приборов типа ПВ:
а — на три параметра типа ПВ-10, б — на один параметр типа ПВ-4

Принципиальная схема вторичного пневматического прибора показана на рис. 90. Действие прибора основано на компенсационном принципе измерения, при котором усилие от входного давления $P_{вх}$ уравнивается усилием устройства обратной связи.

Входное давление $P_{вх}$ воспринимается сильфоном 2. Давление от источника питания через дроссель 1 попадает в линию сопла 4 и силового элемента 8. С изменением входного давления $P_{вх}$ изме-

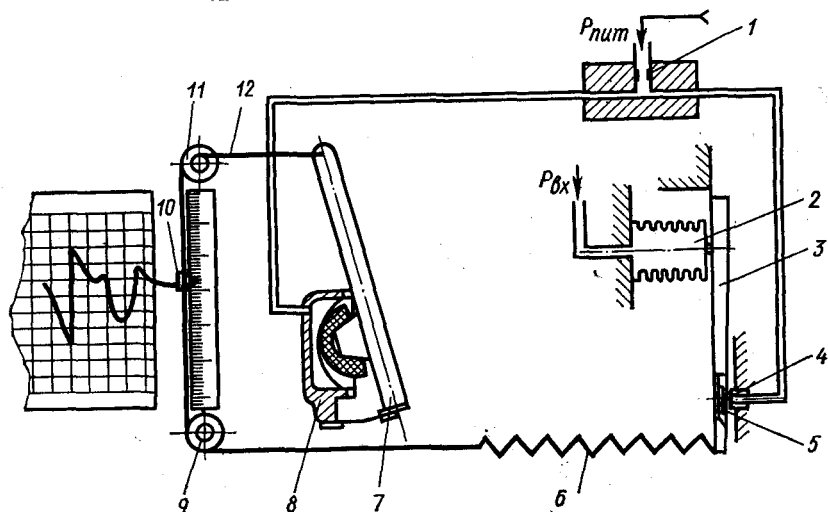


Рис. 90. Принципиальная схема пневматического прибора

няется упругая деформация сильфона 2, сильфон передвигает рычаг 3, тем самым изменяя зазор сопло 4—заслонка 5.

При увеличении давления $P_{вх}$ заслонка 5 прикрывает сопло 4, из которого постоянно выходит воздух в линию питания прибора. При этом возрастает давление в линии сопла и силовом элементе 8. Вследствие этого чашечная мембрана силового элемента выгибается и отводит рычаг 7. При изменении положения рычага 7 меняется положение кинематической связи лавсановой нити 12, перекинутой через ролики 9, 11 и закрепленной к спиральной пружине обратной связи 6. Противоположный конец спирали связан с нижним концом рычага 3.

При перемещении рычага 7 вправо (при увеличении давления) нить растягивает пружину 6, наматывается на ролик и перемещает вверх указатель 10 с пером. При уменьшении входного давления рычаг 7 перемещается влево и указатель 10 перемещается вниз.

Шкалы прибора могут быть градуированы в зависимости от измеряемого параметра в величины давления, перепада давления, расхода и температуры.

§ 6. Электрические вакуумметры

При измерении вакуума в пределах $1 \cdot 10^{-7} \div 1 \cdot 10^{-1}$ Па применяют электрические вакуумметры трех типов: теплоэлектрические, ионизационные и магнитные.

Действие теплоэлектрического вакуумметра основано на зависимости теплопроводности газа от его давления. Прибор состоит из двух основных блоков: манометрического преобразователя (лампы) и измерительного электрического блока.

Манометрический преобразователь термомпарного прибора ЛТ-2 показан на рис. 91,а. Он представляет собой стеклянный баллон, в котором расположены находящиеся в тепловом контакте платиновый проводник-подогреватель и хромель-копелевая термopара. Лампа работает в режиме постоянного тока подогревателя. С изменением измеряемого давления меняется теплопроводность и термо-э. д. с. термopары. Термо-э. д. с. термopары и измеряемый вакуум связаны между собой градуировочной кривой, изображенной на рис. 91,в.

Действие ионизационных вакуумметров основано на использовании электрического разряда, т. е. движения заряженных частиц в вакууме. Манометрический преобразователь ионизационного прибора ЛМ-2 изображен на рис. 91,б. Вдоль оси стеклянного баллона расположен U-образный катод из вольфрамовой проволоки, вокруг которого установлен анод в виде редкой сетки из молибденовой проволоки, подогреваемой электрическим током. Анод окружен ионным коллектором, который выполнен из тонкой никелевой фольги в форме круглого цилиндра.

Измерительный блок обеспечивает необходимый режим лампы, а ток в цепи ионного коллектора является мерой давления.

Дальнейшее понижение предела измерений вакуума возможно благодаря применению инверсно-магнетронного манометрического преобразователя (рис. 92). Преобразователь имеет катод 1, представляющий собой цилиндр 2 с торцовыми плоскостями, и анод 3, который проходит по оси цилиндра через отверстия в торцовых поверхностях катода. Вся система, заключенная в герметичный корпус, помещается в постоянное магнитное поле магнита 4, которое направлено по оси цилиндра катода. На анод подается высокое

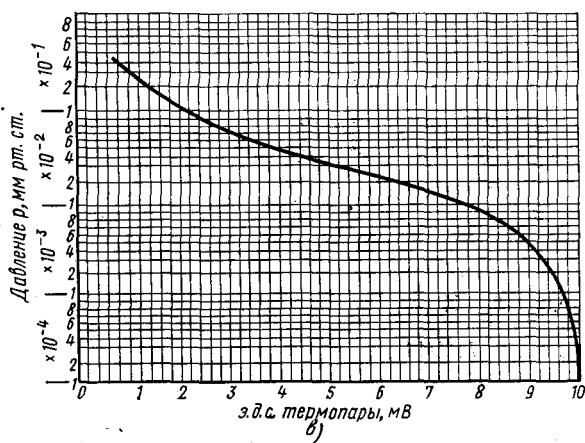
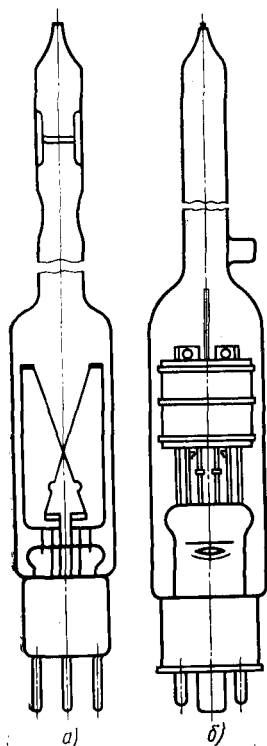


Рис. 91. Манометрические преобразователи:
 а — термпарный ЛТ-2, б — ионизационный ЛМ-2,
 в — градуировочная кривая лампы ЛТ-2

напряжение, равное 6 кВ. Под действием магнитного и электрического полей электрон, покинувший поверхность катода, сталкивается с молекулой газа и производит ее ионизацию, т.е. ток ионизации является мерой давления.

Электрический магнитный блокировочный вакуумметр ВМБ-8 (рис. 93) предназначен для измерения давления в пределах $1 \cdot 10^{-7}$ — $1 \cdot 10^{-1}$ Па, а также используется в качестве датчика автоматики в автоматизированных вакуумных системах. Прибор состоит из инверсно-магнетронного манометрического преобразователя 1 ММ-32-1, измерительного блока 4 БИВ-1, соединителя 3 и термостойкого соединителя 2.

Принцип работы прибора заключается в том, что манометрический преобразователь преобразует сигнал давления в сигнал постоянного тока. Разрядный ток преобразователя, пропорциональ-

ный измеряемому давлению, поступает на измерительный блок. Измерительный блок состоит из следующих элементов: источника питания, логарифмического устройства *УЛ*, усилителя постоянного тока *УПТ*, измерительного прибора *ИП1*, устройства сигнализации неисправности блока *УС*, двух устройств блокировок *УБ*.

Источник питания обеспечивает режим работы манометрического преобразователя (на анод подается высокое напряжение 2500 В) и всех остальных устройств измерительного блока.

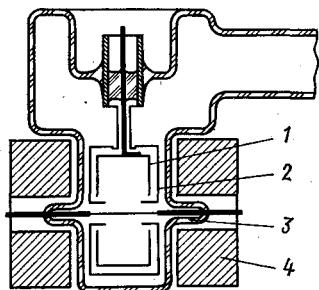


Рис. 92. Инверсно-магнетронный преобразователь ММ-14

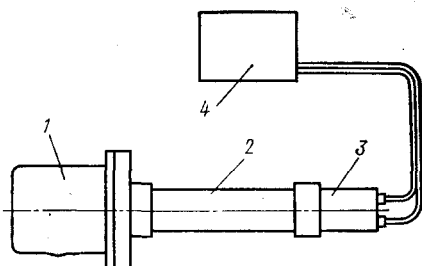


Рис. 93. Блок-схема магнитного вакуумметра ВМБ-8

В связи с тем что прибор работает в широком интервале измеряемых давлений без переключателя диапазонов, в нем предусмотрено логарифмическое устройство, которое преобразует разрядный ток манометрического преобразователя в напряжение, изменяющееся по логарифмическому закону. За счет этого устройства весь широкий диапазон измеряемых давлений укладывается в показания измерительного прибора *ИП1*, имеющего 100 делений шкалы. Отсчет давления производится по градуировочной характеристике, показывающей зависимость показаний измерительного прибора от давления.

Два устройства блокировок *УБ* предназначены для автоматической сигнализации заданных значений давлений при использовании прибора в качестве датчика автоматики в автоматизированных вакуумных системах. Блокировочное устройство *УБ* (рис. 94) работает следующим образом. При увеличении разрядного тока манометрического преобразователя увеличивается напряжение на выходе усилителя постоянного тока *УПТ*. Если напряжение с выхода усилителя превысит величину опорного напряжения, заданного потенциометром *R11*, то разность этих напряжений через замкнутый контакт ис-

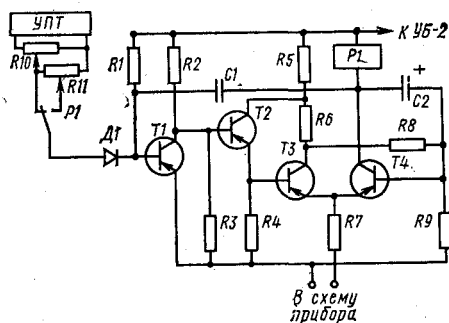


Рис. 94. Электрическая схема блокировочного устройства *УБ* вакуумметра ВМБ-8

полнительного реле $P1$ поступает на базу транзистора $T1$ и «запирает» его. Токовый сигнал в цепи эмиттер — коллектор транзистора $T1$ переводит транзисторы $T2$ и $T3$ в открытое состояние и «запирает» транзистор $T4$. Так как коллекторный ток «запертого» транзистора $T4$ практически равен нулю, то исполнительное реле $P1$ обесточивается и перекидывает свой контакт в цепи выхода усилителя постоянного тока УПТ.

Если величина напряжения на выходе усилителя меньше величины опорного напряжения, заданного потенциометром $R10$, то диод $D1$ «запирается», при этом транзистор $T1$ переходит в открытое насыщенное состояние, транзисторы $T2$ и $T3$ закрываются, а транзистор $T4$ — открывается. Под действием коллекторного тока транзистора $T4$ исполнительное реле $P1$ срабатывает и перекидывает свой контакт в цепи выхода УПТ. Исполнительные контакты сигнализации значений давлений от реле $P1$ обоих устройств блокировок выведены на выходной клеммник прибора.

§ 7. Сигнализаторы давления

Любой компрессор, паровой котел и сосуд высокого давления имеют допустимую величину рабочего давления, превышение которого может привести к аварии, взрыву и выводу оборудования из строя. В связи с этим такое оборудование имеет автоматическую защиту, позволяющую производить «сброс» предельного давления или останов предаварийного оборудования.

Для этих целей используются сигнализаторы давления, которые по типу чувствительного элемента подразделяются на четыре основных типа: пружинные, поршневые, мембранные, сильфонные.

Пружинные и поршневые сигнализаторы используют при давлении 2,5—60 МПа (25—600 кг/см²), сильфонные и мембранные от 0,02—0,25 МПа (0,2—2,5 кгс/см²).

Электроконтактный манометр типа ЭКМ (ВС-16 рб) (см. рис. 77) по принципу действия и устройству подобен обычному манометру с одновитковой пружиной. Сигнальное устройство прибора имеет два установочных контакта: минимальный (нижний) и максимальный (верхний), которые замыкаются с подвижным контактом, установленным соосно с измерительной стрелкой прибора. Установочные контакты с помощью штифта, расположенного на лицевой части прибора, могут перемещаться на соответствующее задание.

В мембранных сигнализаторах давления типов ДТ, ДН и СПДМ в качестве чувствительных элементов используется эластичная мембрана, выполненная из прорезиненной ткани. На рис. 95,а показано устройство сигнализатора давления типа ДН. Плоская мембрана 2 связана со штоком 1, который при изменении контролируемого давления, поступающего через штуцер 4 в полость датчика 3, замыкает или размыкает контакты микровыключателя 6, установленного на корпусе сигнализатора. Настройка

диапазонов срабатывания производится с помощью противодействующей пружины 5.

Сильфонные сигнализаторы давления типов РД, ДД имеют большую чувствительность по сравнению с вышеописанными типами сигнализаторов, так как чувствительными элементами таких сигнализаторов являются сильфоны.

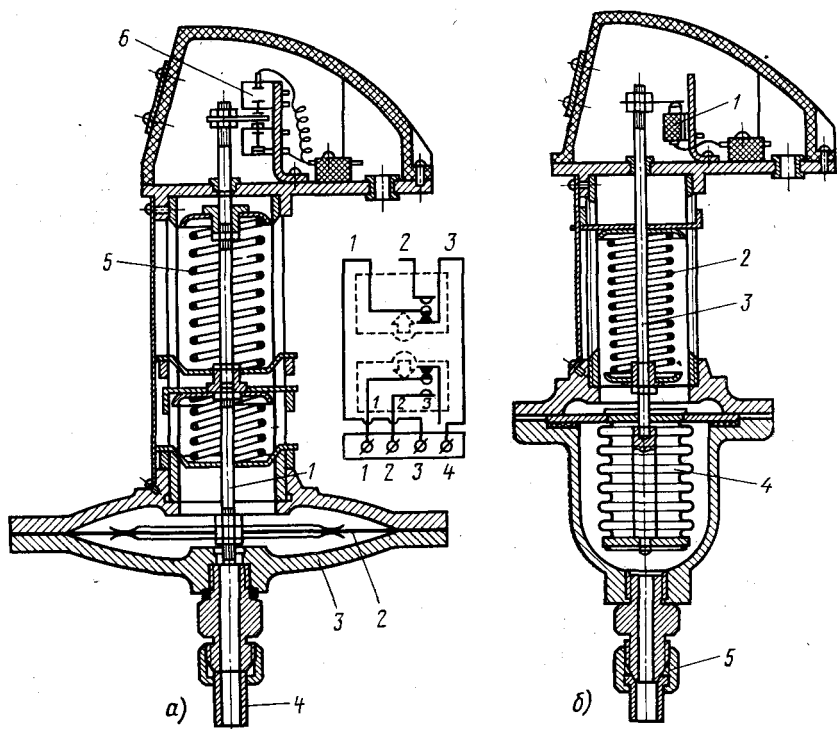


Рис. 95. Сигнализатор давления:
а — типа ДН, б — типа ДД

Приборы типа ДД (датчик давления), подобно датчикам типа ДН и ДТ, состоят из трех унифицированных узлов — чувствительного элемента, пружинного задатчика и переключающего устройства.

На рис. 95,б показано устройство сильфонного прибора типа ДД. При повышении давления контролируемой среды, поступающего через штуцер 5, сильфон 4 деформируется, преодолевает усилие противодействующей пружины 2 задатчика и толкателем 3 переключает микропереключатель 1.

В зависимости от модификации сигнализатор типа ДД используется в диапазоне давлений от 0,006 до 1,6 МПа (0,06—16 кгс/см²).

Реле давления РД-12 (рис. 96) предназначается для контроля и сигнализации давлений в технологических установках.

Расходом называется количество газа или жидкости, протекающее через поперечное сечение трубопровода в единицу времени.

В СИ расход может быть объемный Q , выражаемый в м³/с, или массовый M , выражаемый в кг/с. Внесистемной единицей измерения расхода является литр в секунду (л/с).

Массовый и объемный расходы связаны между собой зависимостью: $M = Q\rho$, где ρ — плотность газа или жидкости.

Средней скоростью потока называется отношение объемного расхода к площади поперечного сечения потока: $v_{\text{ср}} = Q/F$, где Q — объемный расход газа (жидкости), F — площадь поперечного сечения потока.

Физически $v_{\text{ср}}$ представляет собой постоянную во всех точках сечения величину скорости потока, однако вследствие влияния сил вязкости скорость по сечению потока распределяется неравномерно. Максимальную скорость имеет поток в центре сечения. При удалении от центра скорость потока уменьшается до нуля у стенок трубы.

Потоки делятся на установившиеся и неуставившиеся, ламинарные (безвихревые) и турбулентные (вихревые). В установившемся потоке средняя скорость и расход жидкости в сечении потока не меняются во времени. Если средняя скорость и расход жидкости в сечении потока изменяются во времени, то такой поток называется неуставившимся.

Расходомеры, применяемые для измерения расхода жидкостей и газов, подразделяются на следующие типы: тахометрические счетчики, работающие по принципу измерения частоты вращающихся частей прибора, находящихся в потоке измеряемой среды; расходомеры постоянного перепада давления, воспринимающие рабочим телом (поплачком) гидродинамическое давление измеряемого потока среды; расходомеры переменного перепада давления, воспринимающие перепад давления на сужающем устройстве, установленном в измеряемом потоке; индукционные расходомеры, работающие на принципе измерения электродвижущей силы (э. д. с.), индуктированной в магнитном поле при протекании потока жидкости; ультразвуковые расходомеры, работающие на принципе измерения скорости распространения ультразвука в измеряемом потоке.

Кроме данных типов расходомеров внедряются новые типы расходомеров: массовые турборасходомеры и расходомеры, работающие на принципе ядерно-магнитного резонанса.

§ 2. Тахометрические приборы

Тахометрические (или турбинные) расходомеры относятся к наиболее точным приборам для измерения расхода жидкости. Погрешность этих приборов составляет 0,5 — 1,0%. К преимуществам приборов данного типа относятся простота конструкции, высокая чувствительность, возможность измерений больших и малых

расходов. Существенными недостатками таких приборов являются износ опор и необходимость индивидуальной градуировки с помощью градуировочных расходомерных установок.

К основным элементам прибора относятся тахометрический датчик (ротор) и отсчетное устройство. Принцип действия прибора основан на суммировании за определенный период времени числа оборотов помещенного в поток вращающегося ротора, частота которого пропорциональна средней скорости протекающей жидкости, т. е. расходу.

Счетный механизм расходомера связан посредством редуктора с тахометрическим ротором. По счетному устройству определяется значение расхода.

Расходомеры (скоростные счетчики жидкости) характеризуются нижним и верхним пределами измерения и номинальным расходом. Нижний предел измерения есть минимальный расход, при котором прибор дает показания с допустимой погрешностью. Верхний предел измерения есть максимальный расход, при котором обеспечивается кратковременная работа счетчика (не более одного часа в сутки). Номинальный расход есть максимальный длительный расход, при котором обеспечивается допустимая погрешность, а потеря давления не создает усилий, приводящих к быстрому износу трущихся деталей.

Наиболее распространенными типами таких счетчиков являются счетчики типов ВК, УВТ и расходомеры бензина, толуола и ацетона типа ШЖУ. На рис. 97 показан счетчик воды турбинный ВТ с горизонтальной вертушкой. Поток жидкости при входе в прибор выравнивается струевыпрямителем 1 и направляется на лопатки вертушки 4, представляющей собой многозаходный винт. Червячной парой 5 и передаточным механизмом 2 вращение вертушки передается счетному устройству 3.

Для измерения расходов очищенных горючих газов применяют ротационные объемные газовые счетчики типа РГ (рис. 98), которые работают при температуре газа в пределах 0—50 °С и давлении до 100 кПа (1 кгс/см²). Наименьший расход, измеряемый счетчиком, составляет 10% от номинального расхода. Счетчик состоит из корпуса, вращающихся двухлопастных роторов, передаточного и счетного механизмов.

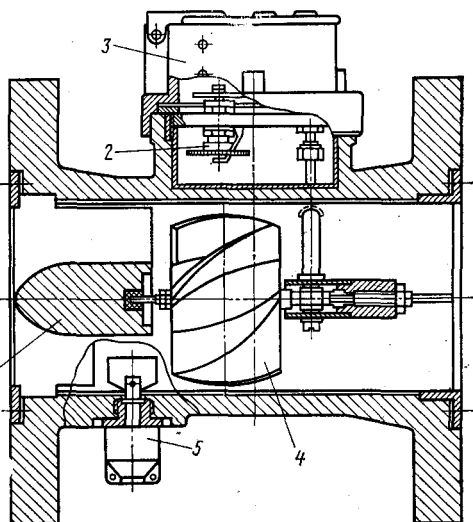


Рис. 97. Счетчик воды турбинный типа ВТ

Под действием разности давлений газа на входе и выходе прибора роторы 2 приводятся во вращение и обкатываются боковыми поверхностями.

Принцип действия объемных ротационных счетчиков основан на суммировании единичных объемов газа V_0 , вытесненных роторами из измерительной камеры прибора за определенный период

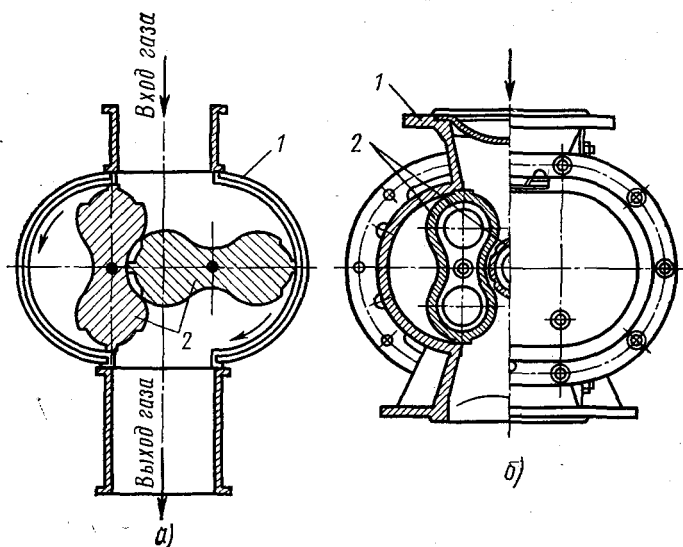


Рис. 98. Газовый счетчик типа РГ:

а — схема, б — общий вид; 1 — корпус, 2 — вращающиеся роторы

времени. За один оборот два ротора вытесняют объем газа V_0 . Частота вращения N роторов за определенный период времени фиксируется счетным механизмом.

Следовательно, формула для измерения объема газа V , прошедшего через прибор, будет иметь вид: $V = V_0 N$.

Газовые счетчики типа РГ в зависимости от модификации выпускают на расходы 40, 100, 250, 400, 600 и 1000 м³/ч. Погрешность показаний в пределах 10 — 100% номинального расхода составляет $\pm 2\%$.

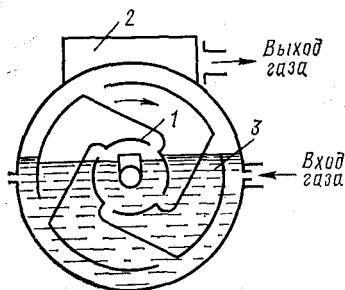


Рис. 99. Барабанный газовый счетчик типа ГСБ

Для точного измерения малых расходов газов и проверки приборов обтекания применяются барабанные газовые счетчики типа ГСБ (рис. 99). Основными элементами счетчика являются барабан 1 с четырьмя равными измерительными камерами и счетный механизм 2. Металлический барабан погружен в затворную жидкость 3. Под действием разности давлений газа на входе и выходе счетчика барабан вращается, при этом газ вытесняется жидкостью из камер барабана. Пол-

ный объем барабана равен суммарному объему всех четырех камер. Посредством счетного механизма определяется расход измеряемого газа. Барабанные счетчики имеют погрешность $\pm (0,2-1) \%$. Необходимыми условиями правильной работы счетчика являются: строго определенная высота уровня затворной жидкости (воды); строгая горизонтальность прибора по установленному уровню.

§ 3. Приборы постоянного перепада

Расходомеры обтекания, относящиеся к расходомерам постоянного перепада давления, нашли широкое применение в измерении расходов газов и жидкостей.

Название приборов (расходомеры обтекания) связано с тем, что рабочая среда (газ или жидкость) обтекает чувствительный элемент прибора — поплавок.

Расходомеры обтекания имеют: высокую чувствительность; малую стоимость, незначительные потери давления; простоту конструкции и эксплуатации; возможность использования при измерении агрессивных жидкостей и газов, а также в тех случаях, когда невозможно использовать другие приборы измерения расхода.

Наиболее распространенным типом такого расходомера является ротаметр (рис. 100), который имеет расширяющуюся коническую трубку 2 и поплавок 1. Шкала стеклянных ротаметров имеет 100 делений, а ротаметры с электрическим и пневматическим выходным сигналом имеют дополнительно вторичные приборы для определения расхода.

В зависимости от пределов измерений поплавков изготавливают из эбонита, дюралюминия или нержавеющей стали. По типу поплавков выполняется цельным или облегченным. Поплавок имеет нижнюю коническую часть, среднюю — цилиндрическую и верхнюю со скошенным бортиком и направляющими канавками, которые служат для придания вращательного движения поплавку, центрирующего его в измеряемом потоке.

Принцип действия ротаметров состоит в том, что гидродинамическое давление измеряемого потока среды воздействует снизу на поплавок и вызывает его вертикальное перемещение. Под действием перемещения поплавок из-за конусности трубки изменяется площадь проходного сечения между поплавком и трубкой, а перепад давления по обе стороны поплавка остается постоянным. Поэтому такие приборы называют расходомерами постоянного перепада давлений.

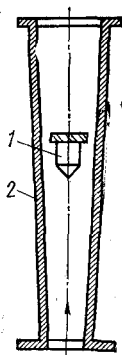


Рис. 100.
Ротаметр

В установленном режиме при определенном расходе масса поплавка уравнивается динамическим давлением потока. Поплавок при этом занимает соответствующее положение относительно трубки и открывает часть проходного сечения прибора.

Каждый ротаметр имеет паспорт, в котором дается градуировочная кривая, показывающая зависимость расхода от положения поплавка. Как правило, ротаметры тарируют по воде или воздуху. При использовании приборов на другие жидкости и газы в градуировочную кривую вносят поправочный коэффициент, учитывающий плотность измеряемого газа или жидкости.

В настоящее время выпускают показывающие, стеклянные ротаметры РМ, ротаметры с пневматической передачей показаний РПД и ротаметры с электрической передачей показаний РЭД. В зависимости от измеряемых расходов ротаметры имеют ряд модификаций.

Ротаметры с дистанционной передачей показаний типа РЭД имеют дифференциально-трансформаторную катушку, плунжер которой жестко связан с поплавком ротаметра.

Ротаметры с пневмовыходом типа РПД имеют пневмопреобразователь со стандартным выходным пневматическим сигналом, который в зависимости от расхода измеряемого газа или жидкости формирует пневмосигнал от 20 до 100 кПа (0,2—1,0 кгс/см²).

Тарировку ротаметров на заводе проводят при температуре 20 °С и давлении 100 кПа (760 мм рт. ст.).

Корпус ротаметра состоит из двух разборных частей, соединенных между собой стяжными стойками. Снизу и сверху прибор имеет фланцы для установки в технологические трубопроводы. Детали прибора, которые соприкасаются с рабочей средой, выполняют из нержавеющей стали.

Ротаметры всех типов и модификаций устанавливают в строго вертикальных участках трубопроводов при направлении потока снизу вверх. Рабочее давление измеряемой среды в зависимости от типа прибора составляет 0,6; 1,6; 6,4 МПа (6, 16 и 64 кгс/см²).

§ 4. Приборы переменного перепада

Для автоматического измерения расходов пара, газов и жидкостей используют различные типы расходомеров переменного перепада. Принцип действия таких приборов, объединенных общим методом измерений, основан на измерении перепада давления, образующегося в результате изменения скорости измеряемого потока на специальном сужающем устройстве, называемом диафрагмой.

Рассмотрим явления, возникающие при прохождении жидкости или газа через сужающее устройство, установленное в трубопроводе (рис. 101). При протекании жидкости или газа через сужающее устройство часть потенциальной энергии давления переходит

в кинетическую энергию, при этом средняя скорость потока в суженном сечении повышается, а давление уменьшается. Таким образом при протекании газа или жидкости образуется разность давлений до и после сужающего устройства. Разность этих давлений (перепад давлений) зависит от скорости (расхода) протекающего вещества. Величина перепада давлений измеряется специальными устройствами, называемыми дифференциальными манометрами.

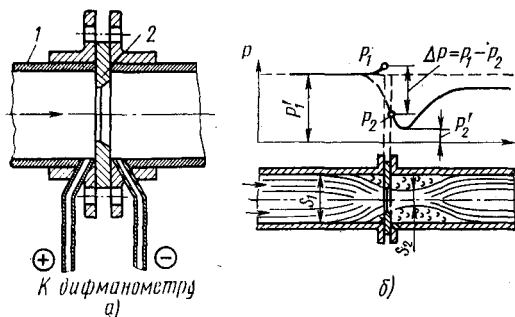


Рис. 101. Измерение расхода газов и жидкости с помощью сужающего устройства:

а — диафрагма; 1 — трубопровод, 2 — сужающее устройство (диафрагма); б — распределение давления у сужающего устройства: P_1' — давление в сечении S_1 , P_1' — давление перед диафрагмой, P_2' — давление в сечении S_2 , P_2' — давление после диафрагмы, ΔP — перепад давления на диафрагме

При прохождении реальных измеряемых сред через сужающее устройство возникают дополнительно такие физические явления, как потери давления на вязкое трение, изменение плотности и др., которые соответствующим образом учитывают при расчетах сужающих устройств.

К стандартным сужающим устройствам относятся диафрагмы, сопла и трубки Вентури. Наиболее распространенным типом сужающих устройств являются диафрагмы дисковые нормальные типа ДДН и диафрагмы камерные нормального типа ДКН.

Нормальная диафрагма представляет собой круглый металлический диск с центральным concentрическим отверстием, диаметр которого строго соответствует выполненному расчету стандартного сужающего устройства.

Диафрагма должна иметь острую прямоугольную кромку со стороны входа измеряемого потока жидкости или газа. К установке диафрагмы относительно оси трубопровода, остроте прямоугольной входной кромке и допуску диаметра диафрагмы предъявляются определенные требования: входная кромка диафрагмы не должна иметь следов затуплений, задиrow и закруглений.

Допустимое отклонение от оси отверстия диафрагмы до оси трубы должно составлять не более $0,015 D (D/d - 1)$, где D — внутренний диаметр трубы, d — внутренний диаметр диафрагмы, мм.

Предельный допуск на внутренний диаметр диафрагмы в зависимости от расчетных данных составляет $\pm (0,001 - 0,005)$ мм.

Нормальные диафрагмы устанавливают на прямолинейном горизонтальном или вертикальном участке трубопровода для созда-

ния ламинарного потока в измеряемой среде. В зависимости от схемы технологических трубопроводов (наличие вентилей, задвижек, колен и закруглений участков трассы) определяют прямые участки до и после диафрагмы. Ориентировочно длина прямого участка должна составлять: до диафрагмы — не менее 10 диаметров трубопровода — $10 D$, после диафрагмы — не менее 5 диаметров трубопровода — $5 D$. Отборы «+» и «—» от камеры при измерении расходов жидкостей устанавливают сбоку перпендикулярно оси трубопровода для исключения погрешности измерений от воздушных «подушек».

В качестве материала диафрагм обычно используют нержавеющую сталь марки Х18Н9Т, устойчивую в условиях агрессивных сред. На верхнюю часть диафрагмы наносят паспортные данные и номер используемого дифференциального расходомера.

Во избежание дополнительной погрешности измерения перепада давлений центр отверстия диафрагмы должен строго лежать на оси трубопровода. Таким образом, для измерения расхода приборами переменного перепада давлений необходимо иметь: сужающее устройство для создания перепада давлений в измеряемом потоке; первичный датчик — дифференциальный манометр, измеряющий перепад на сужающем устройстве; импульсные соединительные линии, соединяющие сужающее устройство с дифференциальным манометром; вторичный измерительный прибор.

Отборы «+» и «—» от камеры при измерении расходов паров и газов устанавливают вверх перпендикулярно оси трубопровода, с тем чтобы исключить попадание конденсата (влаги) от паров (или газов), влияющего на точность измерений.

Все дифманометры переменного перепада для измерения расхода имеют неравномерную (квадратичную) шкалу в связи с существующей квадратичной зависимостью между перепадом давлений и расходом

$$Q = \alpha \varepsilon F_0 \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_1 - P_2)},$$

где Q — объемный расход, α — коэффициент, учитывающий отношение диаметров трубопровода и сужающего устройства и степень сжатия потока, ε — коэффициент, учитывающий изменение плотности потока при прохождении через сужающее устройство, ρ — плотность газа или жидкости, $P_1 - P_2$ — перепад давлений на диафрагме, F_0 — площадь внутреннего отверстия сужающего устройства.

§ 5. Дифференциальные расходомеры

Наиболее распространенными типами расходомеров переменного перепада давлений являются дифференциальные манометры следующих типов: поплавковые, сифонные, мембранные, колокольные, пневматические.

Поплавковые дифманометры работают на принципе сообщающихся сосудов разных диаметров. Под действием перепада

давлений, подведенного к обоим сосудам, изменяется уровень жидкости в дифманометре, что вызывает перемещение поплавка, находящегося в одном из сосудов.

Два сосуда соединены между собой трубкой и наполнены ртутью. При равенстве давлений в обоих сосудах ($P_1 = P_2$) уровни ртути в сосудах одинаковы.

В общем виде зависимость уровней ртути в сосуде от входного давления определяется выражением

$$H\gamma = P, \quad (1)$$

где H — высота уровня ртути, γ — удельный вес ртути, P — входное давление; тогда из условия равновесия столбов ртути в сообщающихся сосудах можно записать

$$P_1 - P_2 = (H_1 + H_2)(\gamma - \gamma_1), \quad (2)$$

где γ — удельный вес ртути, γ_1 — удельный вес вещества, находящегося над ртутью.

Обозначим перепад давлений

$$P_1 - P_2 = P, \quad H_1 + H_2 = H; \quad (3)$$

преобразовав уравнение (2), имеем

$$\Delta P = H(\gamma - \gamma_1). \quad (4)$$

Объем ртути в сосудах при условии равновесия системы определяется как

$$\frac{\pi D_1^2}{4} H_1 = \frac{\pi D_2^2}{4} H_2, \quad (5)$$

где D_1 и D_2 — диаметры сосудов.

Определив из уравнения (5) значение H_2 и подставив его в уравнение (3), имеем

$$H = H_1(1 + D_1^2/D_2^2). \quad (6)$$

Подставив значение H из уравнения (6) в уравнение (4), получим

$$\Delta P = H_1(1 + D_1^2/D_2^2)(\gamma - \gamma_1). \quad (7)$$

Исходя из этого, отношение диаметров D_1 и D_2 для определенного прибора постоянно: $1 + D_1^2/D_2^2 = K_1$, разница удельных весов $\gamma - \gamma_1$ для данного прибора постоянна, поэтому обозначаем $\gamma - \gamma_1 = K_2$, тогда уравнение (6) принимает вид: $\Delta P = K_1 K_2 H_1$, т. е. величина перепада давления ΔP определяется изменением уровня ртути H_1 в первом сосуде, что показывает принцип действия поплавковых дифференциальных манометров.

На рис. 102,а показан бесшкальный дифманометр ДПЭМ-2. Прибор имеет измерительную систему и электрический датчик. Сосуды 1 и 2 соединены между собой и залиты маслом. В плюсовом сосуде 2 установлен поплавок 3, плавающий на поверхности масла. С поплавком 3 соединен плунжер 5, находящийся в индукционной катушке 4 электрического датчика. При изменении

перепада давлений поплавков, следуя за изменением уровня масла, перемещается вверх или вниз, увлекая в том же направлении и плунжер.

Электрический датчик (рис. 102,б) имеет первичную обмотку 1, питающуюся переменным током от силового трансформатора электронного усилителя вторичного прибора, и вторичную обмотку 2, состоящую из двух секций, включенных навстречу друг другу. Под действием магнитного потока первичной обмотки во вторичной обмотке датчика индуцируется переменное напряжение, величина и фаза которого зависят только от положения плунжера в катушке. Индуцированное переменное напряжение подается на электронный усилитель вторичного прибора, который определяет действительный расход измеряемой среды. Таким образом, каждому положению плунжера датчика, определяемого значением перепада давления, соответствует определенное положение показывающей стрелки расходомера.

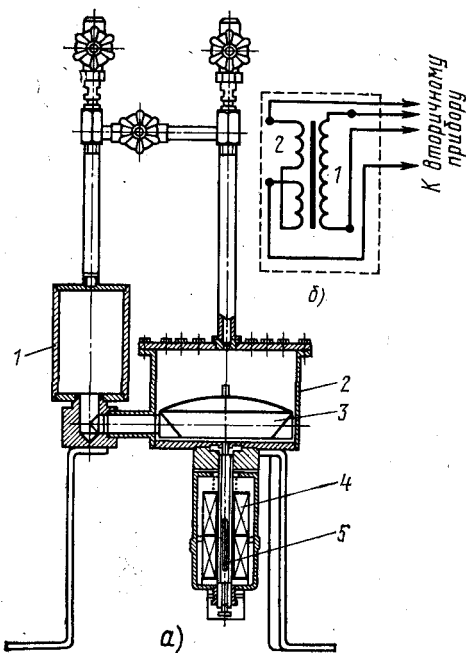


Рис. 102. Поплавковый расходомер:
а — дифманометр ДПЭМ-2, б — электрический датчик дифманометра ДПЭМ-2

Основными типами поплавковых дифманометров являются: показывающие приборы типа ДП (ДП-780, ДПМ-780), самопишущие приборы типа

ДПМ (ДПМ-710, ДПМ-710Р и др.), с дистанционной передачей показаний типа ДПЭС. Данные типы приборов могут иметь сигнальное устройство, интегратор или пневмодатчик.

В поплавковом дифманометре-расходомере типа ДП связь между перемещением поплавка и приводом измерительной стрелки осуществляется с помощью магнитной муфты.

Магнитная муфта (рис. 103) имеет магнитопровод 2, постоянный магнит 1, заключенный внутри немагнитного стакана 3.

Линейное перемещение поплавка прибора преобразуется кинематической связью в угловое перемещение сектора 4. При этом следящая шестерня 5 поворачивает на некоторый угол магнитопровод 2.

Силы взаимодействия постоянного магнита 1 и магнитопровода 2 синхронно поворачивают магнит на угол, равный углу поворота магнитопровода.

Ось 7 постоянного магнита связана с квадратичным расходо-

мерным лекалом, посредством которого осуществляется запись измеряемого расхода. При максимальном перемещении поплавка, равном 35, 25 мм, выходная ось магнитной муфты поворачивается на угол $173^{\circ}25'$.

У дифманометров — расходомеров — на выходную ось магнитной муфты устанавливают лекало, рассчитанное по квадратичной зависимости.

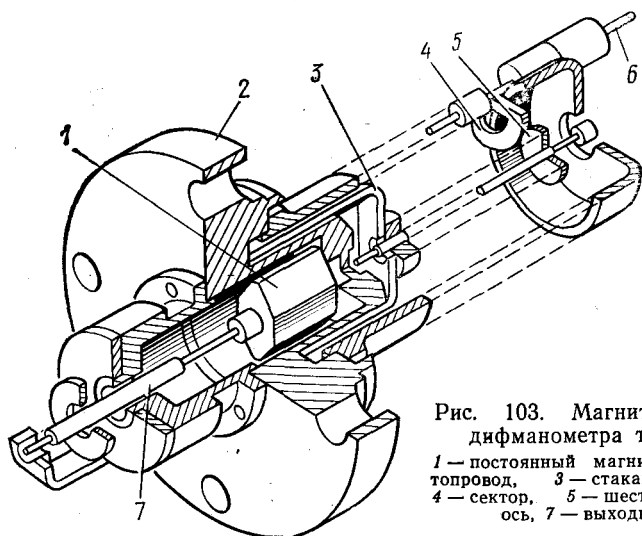


Рис. 103. Магнитная муфта дифманометра типа ДП:

1 — постоянный магнит, 2 — магнитопровод, 3 — стакан-разделитель, 4 — сектор, 5 — шестеренка, 6 — ось, 7 — выходная ось

У дифманометров — перепадамеров и уровнемеров — вместо лекала устанавливается сектор, так как зависимость перепада давления или уровня от перемещения поплавка прибора определяется линейной зависимостью: $y = kx$.

Дифманометры типов ДП-778 и ДП-778Р оснащены сигнальными устройствами, принцип действия которых основан на свойстве фоторезистора резко уменьшать свое внутреннее сопротивление при воздействии на него светового потока. При этом резко возрастает ток в цепи фоторезистора и полупроводниковый усилитель включает сигнальное реле.

Сигнальное устройство имеет три предела сигнализации: минимум, норма, максимум.

Максимальный и минимальный пределы сигнализации (или измерения) устанавливаются стрелками и задатчиками. При значении измеряемого параметра в заданном пределе горит лампочка желтого цвета «Норма». При достижении значения измеряемой величины, равной задатчику (максимум или минимум), открывается щель в шторке подсветки и световой поток лампы падает на фоторезистор, сигнал которого поступает в цепь усилителя. Срабатывает соответствующее реле и загораются лампы красного цвета «Максимум» или зеленого цвета «Минимум».

Электрическая схема сигнального устройства приборов типа ДП-778 показана на рис. 104.

Питание ~ 220 В подается на схему через разъем Ш2. Диодный мост Д3—Д6 с конденсатором С2 обеспечивает напряжение постоянного тока для сигнального блока, состоящего из двух электронных ключей, выполняемых на полупроводниковых триодах ПП1-ПП2.

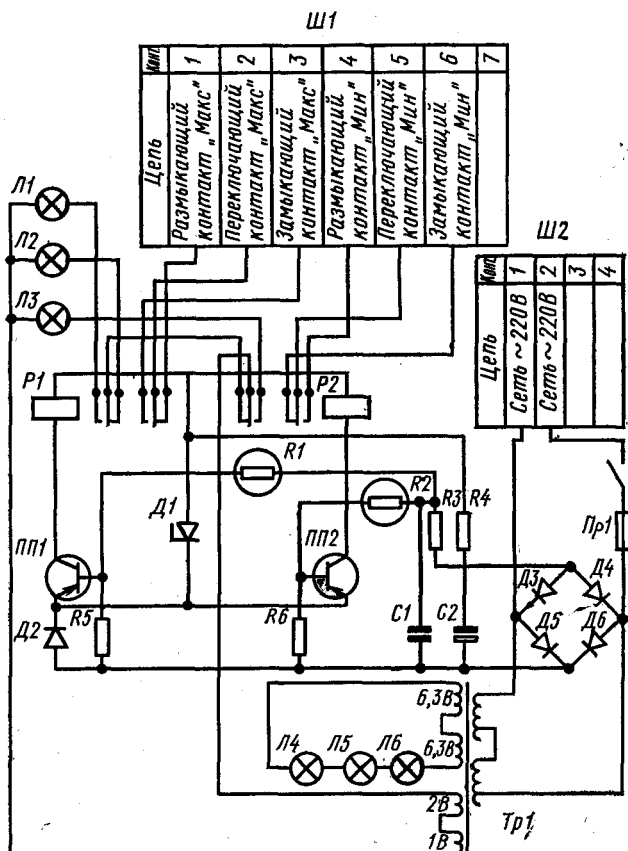


Рис. 104. Электрическая схема сигнального устройства расходомера типа ДП

Нагрузкой триодов являются электромагнитные реле $P1$ и $P2$. Когда измеряемый параметр находится в норме, то шторка закрывает фоторезисторы $R1$ и $R2$ от световых потоков ламп подсветки $L4$, $L5$.

В таком положении транзисторы $ПП1$ и $ПП2$ заперты относительно эмиттеров положительным потенциалом, поступающим на базы транзисторов за счет падения напряжения на диоде $D2$.

Так как транзисторы заперты, то коллекторный ток на обоих

транзисторах практически отсутствует, поэтому обмотки реле $P1$ и $P2$ обесточены и через их контакты проходит цепь сигнальной лампы желтого цвета $Л2$ «Норма».

Если контролируемый параметр достиг предела, заданного стрелкой-задатчиком, шторка открывает световой поток осветительной лампы $Л4$, фоторезистор $R1$ резко уменьшает свое внутреннее сопротивление. В результате этого увеличивается ток в цепи базы транзистора $ПП1$, транзистор открывается и срабатывает реле $P1$. При этом контакты реле $P1$ включают сигнальную красную лампу $Л1$ «Максимум» и одновременно замыкают исполнительные контакты на разьеме $Ш2$, которые используют в схеме автоматического управления или сигнализации.

Аналогично работает электрическая схема при достижении прибором минимального значения контролируемого параметра.

Сильфонные и мембранные дифманометры, имеющие небольшую инерционность и практически неограниченный верхний предел измерения, относятся к пружинным дифманометрам.

Чувствительными элементами таких дифманометров, воспринимающих перепад давлений, являются сильфоны и мембраны.

Принцип действия сильфонного дифманометра основан на уравнивании измеряемого перепада давления силами упругих деформаций сильфонов. Для создания противодействующей силы сильфоны дополняются винтовыми пружинами. Практические схемы дифманометров, имеющих сильфонные блоки из двух сильфонов, соединенных между собой регулируемым дросселем — демпфером, сложнее приведенной схемы (рис. 105), по которой можно представить общий принцип действия прибора.

Плюсовое большее давление P_1 подается в полость корпуса 4, а минусовое, меньшее давление P_2 — внутрь сильфона 3. Под действием перепада давлений сильфон деформируется, при этом перепад давлений уравнивается силой упругой деформации сильфона и винтовой пружиной 2. Деформация сильфона, являющаяся функцией перепада давлений, через рычажный механизм 1 преобразуется в перемещение измерительной стрелки 5 прибора.

В промышленных приборах типа ДС-IV сильфонный блок подобен описанному, однако ось блока связана с плунжером, который перемещается относительно индукционной катушки, включенной совместно с катушкой вторичного прибора в индукционную дифференциально-трансформаторную измерительную схему.

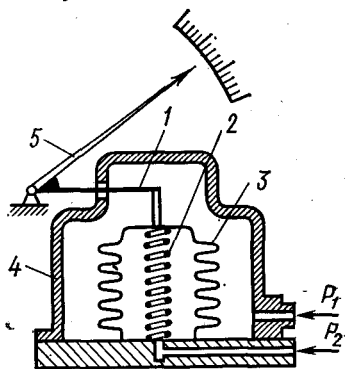


Рис. 105. Сильфонный дифманометр

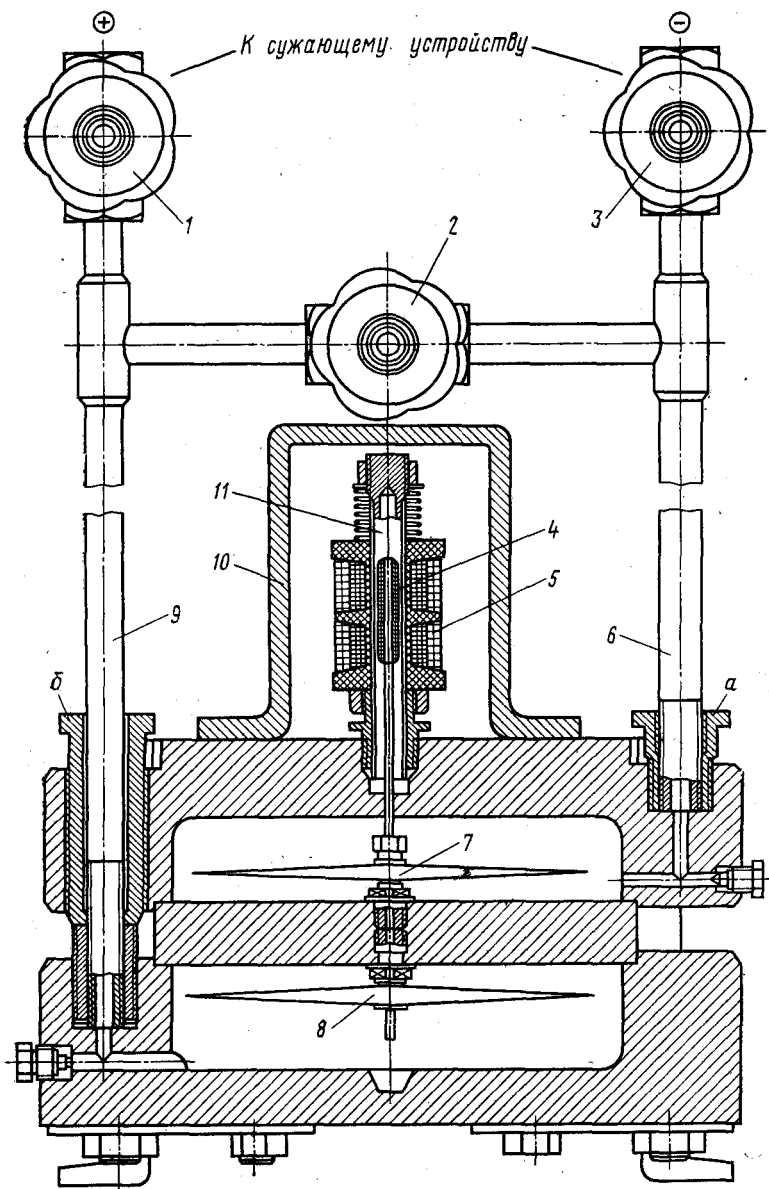


Рис. 106. Мембранный дифманометр типа ДМ:

1, 2, 3 — вентили, 4 — сердечник, 5 — катушка, 6, 9 — импульсные трубки, 7, 8 — мембранные коробки, 10 — колапк, 11 — разделяющая трубка, а, б — штуцера

Основными типами сильфонных дифманометров являются: бесшкальные приборы типа ДС (ДС-ПЗ, ДС-П4, ДС-П5), дифманометры сильфонные показывающие типа ДСП (ДСП-780, ДСП-778), дифманометры сильфонные самопишущие типа ДСС (ДСС-710, ДСС-712, ДСС-732).

Рабочий диапазон перепадов давления различных типов сильфонных дифманометров составляет от 40 до 0,63 МПа (400—6,3 кгс/см²).

Мембранные дифманометры типа ДМ (рис. 106) в качестве чувствительного элемента имеют мембранный блок, состоящий из двух сообщающихся между собой мембранных коробок 7 и 8. Каждая мембранная коробка собрана из двух мембран, внутри которых находится дистиллированная вода. Перепад давления от сужающего устройства в камеры подводится через импульсные трубки 6 и 9, на которых установлены запорные вентили 1 и 3, вентиль 2 является уравнительным. В рабочем состоянии у дифманометра уравнительный вентиль 2 находится в закрытом состоянии. С центром верхней мембраны связан сердечник 4 дифференциально-трансформаторного датчика.

Дифференциально-трансформаторный датчик представляет собой индукционную катушку 5 из двух обмоток, внутри которой помещен сердечник 4 из мягкой стали. Первичная обмотка датчика питается напряжением от вторичного электронного прибора. Под действием разности давлений нижняя мембранная коробка сжимается, жидкость из нее перетекает в верхнюю коробку, коробка увеличивается в объеме и перемещает вверх сердечник 4. В результате этого во вторичной обмотке индукционной катушки изменяется напряжение и фаза выходного сигнала. Выходной сигнал в дальнейшем регистрируется вторичным электронным прибором — расходомером.

Деформация мембран происходит до момента уравнивания сил, вызванных перепадом давлений и упругими силами мембранных коробок. Мембранные коробки в зависимости от рабочего перепада давлений имеют определенную расчетную жесткость.

Дифференциальные манометры типа ДМ разделяют на две группы: приборы невзаимозаменяемых моделей (ДМ-3577, ДМ-3566, ДМ-3564, ДМ-3537); приборы взаимозаменяемых моделей с унифицированными выходными параметрами (ДМ-3573, ДМ-3574, ДМ-3582, ДМ-3583), работающие в комплексе с вторичными самопишущими приборами типов КСД, ДСР и машинными централизованным контролем и регулированием.

Кольцевой дифференциальный манометр типа ДК-Ф (рис. 107), работающий по методу переменного перепада давлений, применяется для измерения расхода и разности давлений неагрессивных газов и жидкостей. Отличительной особенностью кольцевых дифманометров является возможность их использования при измерении малых перепадов давлений. Чувствительным элементом прибора является заполненное до половины высоты рабочей жидкостью (трансформаторным маслом или водой) по-

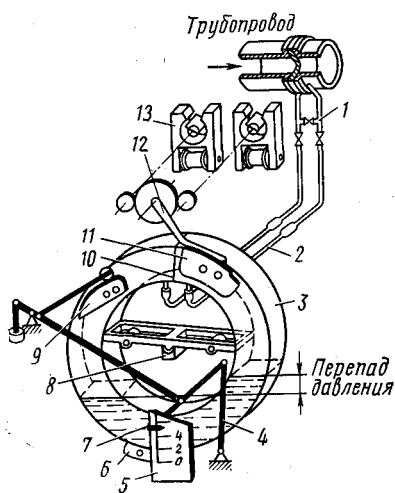


Рис. 107. Кольцевой дифманометр типа ДК-Ф:

1 — трубка отбора перепада давления от диафрагмы, 2 — импульсные трубы, 3 — подвижное кольцо, 4 — связь, 5 — шкала, 6 — противовес, 7 — стрелка, 8 — опора, 9 — лекало, 10 — перегородка, 11 — накладка, 12 — кронштейн, 13 — ферродинамический преобразователь.

лое подвижное кольцо 3, установленное на опоре 8. В верхней части кольцо разделено перегородкой 10 на два отсека, в которые от камеры через импульсные трубки 2 подается измеряемый перепад давлений. В нижней части кольца укреплен груз — противовес 6. Под действием перепада давлений жидкость, являющаяся гидравлическим затвором, отделяющим плюсовую и минусовую полости кольцевой камеры, перемещается из камеры с большим давлением (плюсовой) в камеру с меньшим давлением (минусовую). При этом центр тяжести кольца изменяется, происходит его разворот на опоре 8 на определенный угол. Угол поворота кольца определяется равенством момента вращения $M_{вр}$, создаваемого перепадом давлений и противодействующим моментом $M_{пр}$ груза — противовеса 6: $M_{вр} = M_{пр}$.

Передающий механизм преобразует угловое перемещение кольца в перемещение стрелки показывающего прибора.

В целом ряде приборов, в том числе и в приборе ДК-Ф, поворот кольца через передающий механизм преобразуется в поворот рамок ферродинамических преобразователей, принцип действия которых описан ниже.

Приборы типов ДК, ДК-Ф имеют высокую точность измерений, их показания не зависят от плотности рабочей жидкости и температуры окружающей среды. Максимальный измеряемый перепад давлений составляет 250 мм рт. ст.

Колокольные дифманометры типа ДКО (рис. 108) в качестве чувствительного элемента имеют колокол 10, частично погруженный в масло. Плюсовое (большее) давление подводится под колокол, минусовое (меньшее) — в пространство над колоколом. Под действием перепада давлений колокол начинает перемещаться вверх. Объем части колокола, погруженного в масло, уменьшается. При этом уменьшается и архимедова выталкивающая сила, которая пропорциональна погруженному объему колокола и разности объемных весов рабочих сред, находящихся над и под колоколом. Колокол поднимается до тех пор, пока выталкивающая сила не уравнивается действием противодействующей силы пружины 9. При перемещении колокола зубчатый сектор 6 разворачивает относительно оси шестерню 4, соосно с которой находится обмотка рамки 13 ферродинамического преобразователя.

Преобразователь 1 (рис. 109) представляет собой устройство,

имеющее обмотку возбуждения 4, магнитный поток которой создается переменным током, подковообразный магнитопровод 3, ротор 2 с обмоткой рамки.

Поворот рамки преобразователя в магнитном поле, созданном обмоткой возбуждения, приводит к наведению в рамке э. д. с., пропорциональной углу ее поворота.

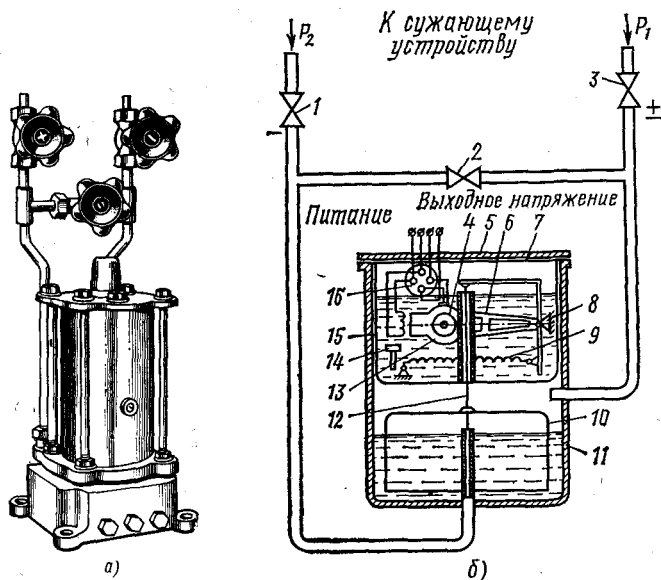


Рис. 108. Колокольный дифманометр типа ДКО:

a — общий вид, *b* — схема; 1, 2, 3 — вентили, 4 — шестерня, 5 — рычаг, 6 — зубчатый сектор, 7 — крышка, 8 — ось, 9 — пружина, 10 — колокол, 11 — корпус, 12 — подвеска, 13 — рамка, 14 — корректор, 15 — бачок с маслом, 16 — клеммник

Таким образом, угол поворота рамки и ее э. д. с. пропорциональны перепаду давлений, действующих на колокол приборов.

Э. д. с. рамки (ротора) преобразователя (датчика) сравнивается с э. д. с. ротора подобной чувствительной системы вторичного прибора 11 расходомера. Разность этих э. д. с. усиливается усилителем 12, в результате чего вращается электродвигатель 10 и ротор 7 до тех пор, пока э. д. с. роторов 2 и 7 не сравняются. В этом положении оба ротора повернуты на одинаковые углы. С ротором 7 связана стрелка 9 прибора.

Перед включением расходомера в работу соединительные линии устройства отбора импульса

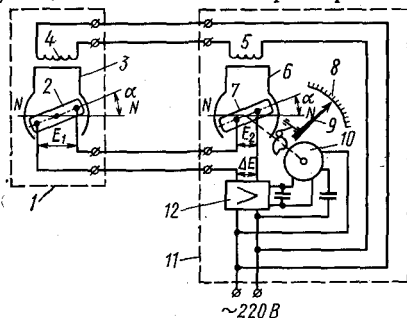


Рис. 109. Схема передачи показаний в расходомере ДКО:

1 — преобразователь ДКО, 2, 7 — роторы с обмоткой рамки, 3, 6 — магнитопроводы, 4, 5 — обмотки возбуждения, 8 — шкала, 9 — стрелка, 10 — реверсивный двигатель, 11 — вторичный электрический прибор, 12 — усилитель

и сам прибор подвергают испытанию на плотность и прочность.

Дифманометр заполняют рабочей жидкостью, согласно требованиям инструкции по эксплуатации. Затем соединительные линии заполняются при измерении неагрессивных сред измеряемой жидкостью, а при агрессивных средах — разделительной жидкостью, не смешивающейся и не реагирующей с измеряемой средой и не вызывающей коррозии деталей дифманометра и материала мембран.

При заливке импульсных линий с разделительными сосудами необходимо учитывать влияние скопившегося воздуха на погрешность прибора. Поэтому прибор может быть включен в работу только через 24 ч после монтажа, заполнения соединительных линий и удаления воздушных пробок методом «простукивания» линий.

В процессе эксплуатации дифманометра необходимо производить проверку «нуля» дифманометра, закрыв «плюсовой» и «минусовой» вентили и открыв «уравнительный» вентиль дифманометра.

После проверки «нуля» вентили устанавливают в первоначальное положение.

При работе дифманометров-расходомеров необходимо учитывать, что они обеспечивают правильные показания при расходах свыше 30% от максимального значения шкалы прибора.

§ 6. Индукционные и ультразвуковые расходомеры

Индукционные расходомеры обладают незначительной инерционностью показаний, что является очень существенным фактором при автоматическом регулировании расходов. В датчиках таких расходомеров нет частей, находящихся внутри рабочего трубопровода, поэтому они имеют минимальные гидравлические потери.

Принцип действия индукционного расходомера (рис. 110) основан на законе Фарадея — законе электромагнитной индукции. Если в трубопроводе 1 течет проводящая жидкость между полюсами магнита 2, то в направлении, перпендикулярном движению жидкости, и в направлении основного магнитного потока возникает э. д. с. на электродах 3, пропорциональная скорости движения жидкости. Магнитное поле создается источником питания 6 электромагнита. Электронный усилитель 4 усиливает э. д. с., индуктированную на электродах 3, которую регистрирует вторичный измерительный электронный прибор 5 расходомера.

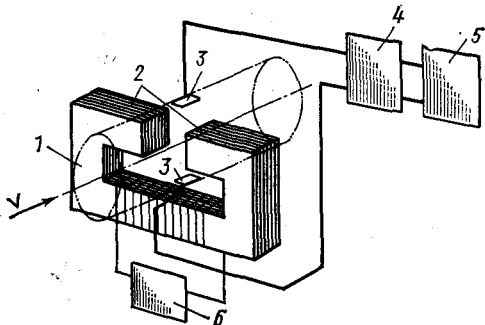


Рис. 110. Принципиальная схема индукционного расходомера

Индуктированная э. д. с. в датчике на электродах 3 определяется уравнением электромагнитной индукции: $E = -BDKv_{\text{ср}}$, где B — магнитная индукция в зазоре полюсов магнита, D — внутренний диаметр трубопровода, K — коэффициент, зависящий от вида магнитного поля (постоянного или переменного магнитного поля), $v_{\text{ср}}$ — средняя скорость потока жидкости.

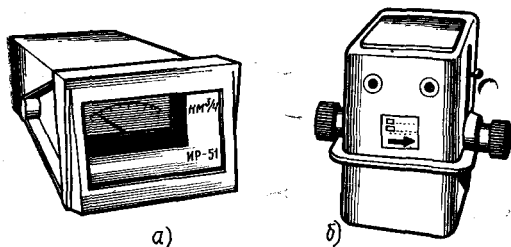


Рис. 111. Индукционный расходомер типа ИР-51:

а — измерительный блок, б — преобразователь

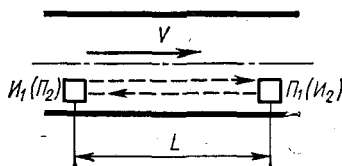


Рис. 112. Принципиальная схема ультразвукового расходомера

Данные расходомеры имеют ряд недостатков — им присуще образование паразитных э. д. с. и явление поляризации электродов, при этом изменяется сопротивление датчика. Эти недостатки создают существенные дополнительные погрешности, для уменьшения которых вводят автоматическую компенсацию паразитных э. д. с., а электроды изготовляют платиновыми, танталовыми, каломелевыми и угольными.

Индукционные расходомеры позволяют измерять расходы абразивных жидкостей и пульп, щелочей, кислот и других агрессивных сред в широком диапазоне — от 1,25 до 400 м³/ч.

В настоящее время выпускают индукционные расходомеры (рис. 111) типов ИР-51, 4РИМ, 5РИМ. Приборы имеют компенсацию трансформаторной э. д. с. В зависимости от типов приборов основная погрешность измерений не превышает 1,0 — 1,6 %.

Принцип действия ультразвуковых расходомеров основан на том, что фактическая скорость распространения ультразвука в движущейся среде газа или жидкости равна геометрической сумме средней скорости движения среды и собственной скорости звука в этой среде.

Чувствительным элементом датчика (излучателя и приемника) является пьезоэлемент — прямоугольная кварцевая пластинка с плоскопараллельными гранями, которая обладает свойствами прямого и обратного пьезоэлектрического эффекта. Если к одним противоположным граням пьезоэлемента подключить напряжение, то под действием электрического поля на двух других противоположных гранях возникают механические колебания. И наоборот, если на одних гранях возбуждать механические колебания, то на противоположных гранях возникает пьезо-э. д. с. Ультразвуковой расходомер ИРУ-63 имеет датчик, электронный блок и регистрирующий прибор.

Принципиальная схема расходомера (рис. 112) включает излучатель I_1 , создающий ультразвуковые колебания частотой от 20 кГц и выше, и приемник P_1 , регистрирующий эти колебания, расположенный от излучателя на расстоянии L .

Если C — скорость звука в среде, а v — скорость потока жидкости, то продолжительность распространения звуковой волны по направлению движения потока от излучателя до приемника будет равна: $t_1 = L/(C+v)$.

Продолжительность распространения звуковой волны против движения потока от I_2 до P_2 : $t_2 = L/(C-v)$.

Разность $\Delta t = t_2 - t_1$, измеренная электронным блоком, будет равна: $\Delta t = 2Lv/[C^2(1-v^2/C^2)]$.

Так как для жидкости $C=1000\div 1500$ м/с, а $v=6\div 8$ м/с, то величиной v^2/C^2 можно пренебречь.

Выражая скорость потока через расход ($v=Q/F$), получим уравнение измерения расхода ультразвуковых расходомеров: $Q = (FC^2\Delta t)/(2LK)$, где F — площадь сечения потока жидкости, K — коэффициент, учитывающий распределение скоростей в потоке, Q — расход измеряемого потока.

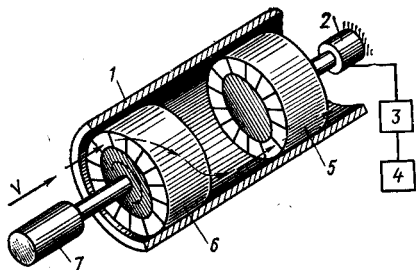


Рис. 113. Схема массового турборасходомера:

1 — корпус, 2 — упругий чувствительный элемент, 3 — усилитель, 4 — вторичный прибор, 5 — ведомая турбинка, 6 — ведущая турбинка, 7 — электродвигатель

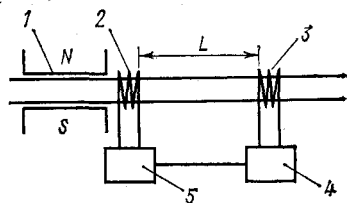


Рис. 114. Схема ядерно-магнитного расходомера

К достоинствам приборов данного типа относят: высокое быстродействие, надежность датчиков (излучателей и приемников), принципиальная возможность измерения расходов любых жидкостей и газов, в том числе и неэлектропроводных.

§ 7. Новые методы измерения расхода жидкостей и газов

В настоящее время отечественной промышленностью успешно осваивается целый ряд перспективных методов измерения расходов, среди которых необходимо выделить массовый и основанный на ядерно-магнитном резонансе.

В массовом турборасходомере (рис. 113) ведущая турбинка 6, вращаемая с постоянной частотой ω электродвигателем 7, закручивает поток измеряемой жидкости, создавая в нем инерционный момент, пропорциональный массовому расходу Q . Измеряемый закрученный поток, проходя через ведомую турбинку

ку 5, жестко связанную с упругим элементом 2, разворачивает ее на определенный угол ϕ , пропорциональный измеряемому расходу.

Массовый расход, определяемый по прибору, имеет вид: $\Phi = K\omega Q$, где K — постоянный конструктивный коэффициент, ω — частота вращения ведущей турбинки.

Из формулы видно, что массовый расход характеризуется углом поворота ведомой турбинки, который преобразуется в пропорциональный электрический сигнал для вторичного прибора.

Погрешность измерения таких турборасходомеров лежит в пределах 0,5 — 1 % от верхнего предела измерения.

Расходомеры, основанные на ядерно-магнитном резонансе, используют явление взаимодействия поляризованных в постоянном магнитном поле атомных ядер с резонансным осциллирующим полем. При этом взаимодействии поглощается часть энергии осциллирующего поля и изменяется намагниченность ядер, т. е. магнитный момент ядер в единице объема вещества.

На рис. 114 показана схема ядерно-магнитного расходомера. Магнит 1 создает сильное магнитное поле, при прохождении через которое жидкость поляризуется. Протекая через катушку 2, питающуюся переменным напряжением резонансной частоты от источника питания 5, поляризованные ядра измеряемой жидкости поглощают часть осциллирующего поля, созданного катушкой 2, и жидкость деполаризуется. Периодически питающее напряжение катушки 2 отключается, и в потоке на выходе из катушки создаются пакеты поляризованных молекул жидкости. Пройдя расстояние L , эти молекулы попадают в поле катушки 3, питающейся тем же переменным напряжением резонансной частоты. В момент протекания поляризованных молекул через осциллирующее поле катушки 3 в ее цепи возникает сигнал ядерно-магнитного резонанса, который воспринимается электронным измерителем 4.

Измерение расхода жидкости по данному принципу сводится к измерению времени между отключением напряжения от катушки 2 и появлением сигнала ядерно-магнитного резонанса на катушке 3. Погрешность измерений ядерно-магнитных расходомеров не превышает 1 %.

Достоинствами таких расходомеров является высокая чувствительность, малая инерционность, отсутствие конструктивных элементов прибора внутри трубопровода.

§ 8. Вторичные приборы для измерения расхода

Наиболее распространенными типами вторичных приборов для работы с электрическими индукционными дифференциально-трансформаторными датчиками расходомеров являются: автоматические показывающие и самопишущие электронные приборы ДС1 и ДСР-1; автоматические показывающие и самопишущие миниатюрные приборы ДСМ2 и ДСМР2; автоматические показывающие и самопишущие электронные приборы типа КСД.

Конструкция приборов КСД и КПД имеет повышенную надежность и построена по блочно-модульному принципу, позволяющему значительно упростить эксплуатацию и ремонт приборов.

В зависимости от модификации и типа вторичный прибор может иметь регулирующее и сигнальное устройство, а также различные преобразователи для преобразования показаний прибора в унифицированный выходной сигнал для ввода показаний прибора в машины централизованного контроля и регулирования.

Основная погрешность вторичных приборов различных типов составляет $\pm 0,5-1\%$, питание приборов производится от сети 220 В частотой 50 Гц. В приборах используется дифференциально-трансформаторная измерительная схема.

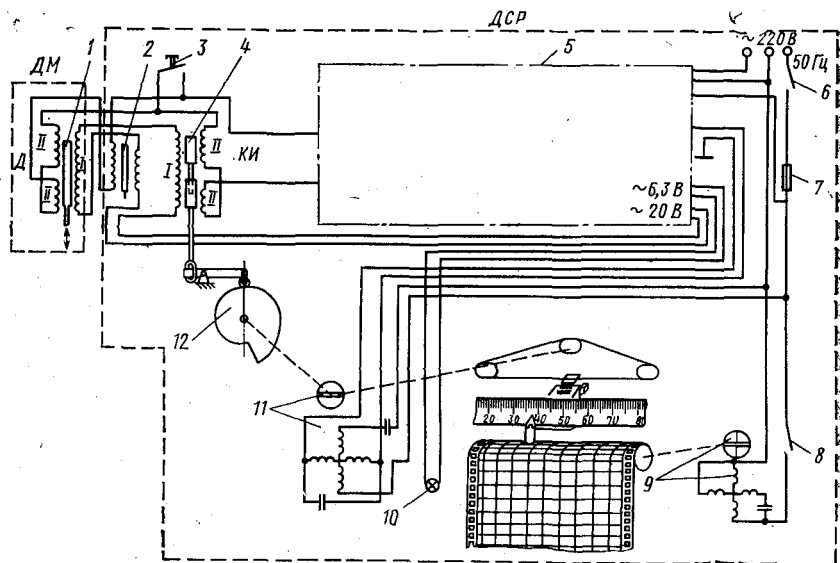


Рис. 115. Схема соединения дифференциально-трансформаторного датчика ДМ с вторичным электронным прибором ДСР:

1 — плунжер датчика, 2 — корректирующая катушка, 3 — кнопка контроля, 4 — плунжер катушки прибора, 5 — электронный усилитель, 6 — выключатель прибора, 7 — предохранитель, 8 — выключатель двигателя, 9 — синхронный двигатель прибора диаграммы, 10 — лампа, 11 — реверсивный двигатель, 12 — кулачок; I — первичные обмотки, II — вторичные обмотки, Д — катушка датчика ДМ, КИ — трансформаторы датчика прибора ДСР

В качестве примера рассмотрим электрическую схему соединения дифференциально-трансформаторного датчика типа ДМ и вторичного прибора типа ДСР (комплект расходомера) (рис. 115). В приборе ДСР установлена трансформаторная катушка КИ, подобная катушке Д датчика ДМ; катушки соединяются между собой по дифференциально-трансформаторной схеме.

Первичные обмотки I соединены последовательно и питаются от силового трансформатора электронного усилителя вторичного прибора. Вторичные обмотки II состоят из двух секций, которые включены встречно друг другу, а сами обмотки соединены по дифференциальной схеме, на выход которой включен электронный

усилитель. В датчике *Д* плунжер *1* перемещается в зависимости от измеряемого перепада давлений, действующего на датчик при измерении расхода.

Во вторичном приборе в катушке *КИ* плунжер перемещается с помощью кулачка *12*—профильного диска, связанного с реверсивным двигателем *11* прибора. Так как первичные обмотки катушек питаются переменным током, то во вторичных обмотках катушек индуктируются переменные напряжения, величина которых зависит от положения плунжеров в катушках.

При одинаковых положениях плунжеров эти напряжения равны друг другу и на выходе дифференциальной схемы напряжение отсутствует.

При рассогласовании в положениях плунжеров напряжения, индуктируемые во вторичных обмотках, не равны друг другу и на выходе дифференциальной схемы появляется напряжение, равное их разности.

Выходное напряжение дифференциальной схемы усиливается электронным усилителем, на выход которого подключен реверсивный двигатель (электронный усилитель имеет трехкаскадный усилитель напряжения и усилитель мощности, подобные ранее разобранным схемам вторичных приборов). Реверсивный двигатель при неравенстве нулю напряжения на выходе усилителя приходит во вращение и с помощью кулачка перемещает плунжер *4* в катушке прибора *КИ* до положения, соответствующего положению плунжера *1* катушки датчика *Д*. При соответствии положений плунжеров наступает новое равенство напряжений во вторичных катушках, разность которых равна нулю. Сигнал на входе и выходе усилителя отсутствует, двигатель и измерительная стрелка прибора находятся в состоянии покоя.

Прибор типа КСД-3 с дифференциально-трансформаторной измерительной схемой относится к приборам системы ГСП. Он может использоваться для автоматического контроля и регулирования неэлектрических величин, давления, уровня, напора, расхода и т. д. Прибор имеет стандартный выходной сигнал 0—10 или 10—0—10 МГ.

Электрическая схема прибора типа КСД-3 представлена на рис. 116. Плунжер дифференциально-трансформаторного датчика дифманометра типа ДМ перемещается чувствительным элементом, поэтому его положение определяется значением измеряемого параметра (давления, перепада давления, расхода). В приборе КСД-3 установлен аналогичный дифференциальный трансформатор. Плунжер *П* в его катушке перемещается с помощью лекала *Л*. Прибор для измерения давления имеет лекало в виде сектора с линейной зависимостью; прибор-расходомер имеет лекало, рассчитанное по квадратичной зависимости.

Привод лекала *Л* осуществляется реверсивным двигателем типа Д-32П1, который в зависимости от сигнала усилителя *УПДЗ-01* может вращаться в прямом и обратном направлениях.

Обмотки катушек прибора КСД-3, подобно обмоткам катушек

датчика-дифманометра ДМ, включены по дифференциально-трансформаторной схеме. На схеме первичный датчик-дифманометр не показан, он подключается к прибору КСД через разъем Ш1; первичная обмотка к клеммам 3—4, вторичная к клеммам 1—2.

Вторичная обмотка II прибора КСД-3 имеет две секции, включенные встречно. Выход дифференциально-трансформаторной схемы подается на вход полупроводникового усилителя УПДЗ-01. Первичные обмотки дифференциальных трансформаторов пита-

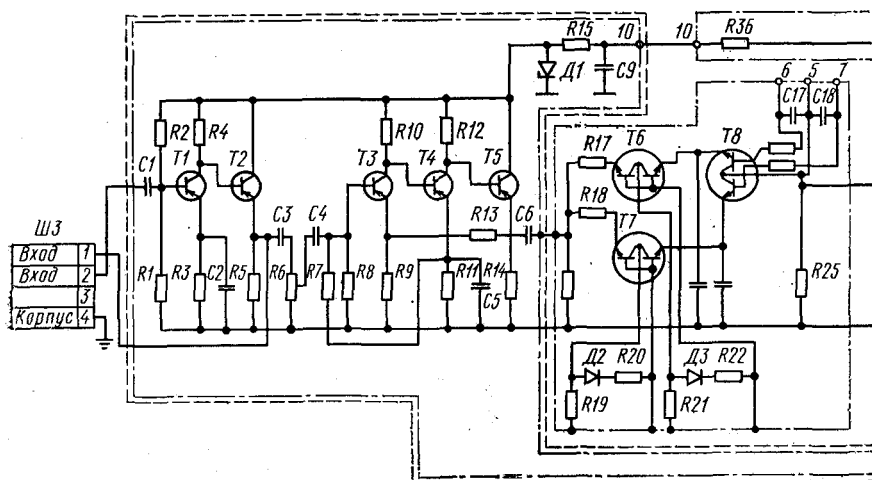
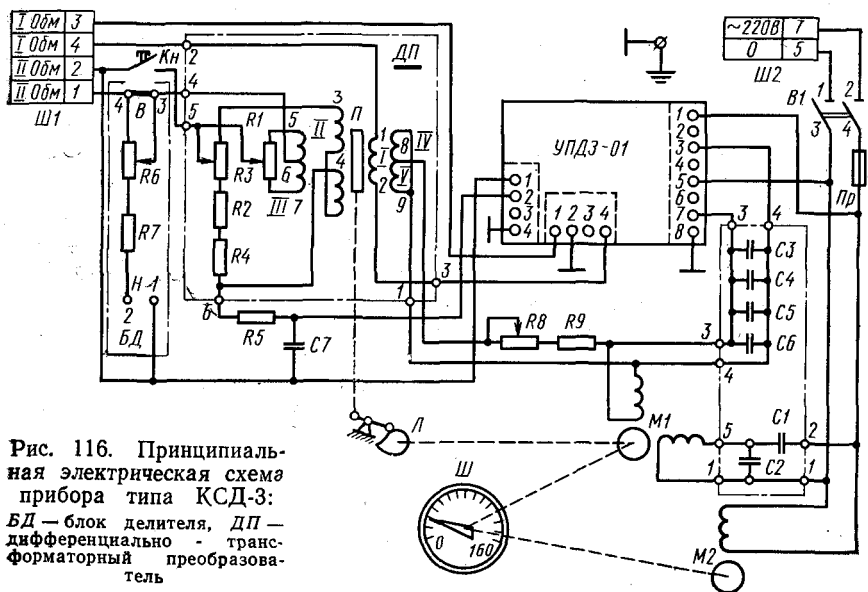


Рис. 117. Принципиальная энергетическая схема усилителя УПДЗ-01

ются переменным током, поэтому во вторичных обмотках *II* индуцируется переменное напряжение, величина и фаза которого определяются положением плунжеров *II* в катушках.

Принцип действия прибора КСД-3 аналогичен описанному выше прибору ДСР. Прибор-расходомер типа КСД-3 имеет унифицированный частотный преобразователь типа ПС или ПГ с выходным сигналом частотой 4—8 кГц. Кроме того, прибор имеет дополнительную обмотку *III*, шунтируемую переменным резистором *R1*, имеющим номинальное сопротивление 100 Ом. Эта цепь включается последовательно с вторичными обмотками датчика и самого прибора. Резистором *R1* можно изменять напряжение, подаваемое на вход прибора.

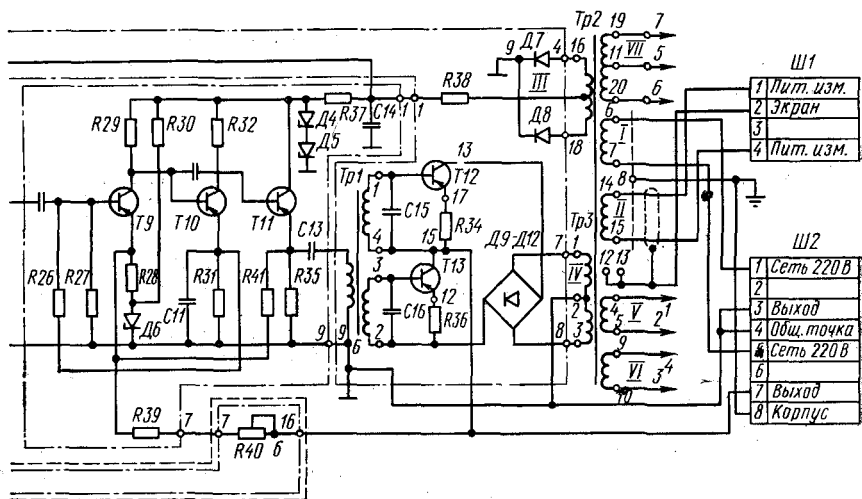
Делитель *R3—R4* шунтирует вторичную обмотку прибора и позволяет регулировать рабочий диапазон шкалы прибора.

Прибор имеет устройство БД (блок-делитель), позволяющий согласовать работу прибора с невзаимозаменяемыми датчиками. При положении переключки *В* прибор работает с взаимозаменяемыми датчиками, при положении переключки *Н* — с невзаимозаменяемыми датчиками.

К взаимозаменяемым датчикам относят дифманометры типа ДМ моделей 23573, 23574, 23582, 23583. К невзаимозаменяемым датчикам относят дифманометры типа ДМ моделей 3577, 3566, 3564, 3537. Шкалы дифманометров-расходомеров могут быть выражены в л/ч, мм³/ч, т/ч, кг/ч.

Верхнее значение шкалы прибора определяется по формуле: $Q = N \cdot 10^n$, где *N* — ряд чисел: 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,25; 4; 5; 6,3; 8.

Полупроводниковый усилитель типа УПДЗ-01 (рис. 117), используемый в приборах дифференциально-трансформаторной схемы типа КСД-3, собран на транзисторах типов МП25Б, МП39Б, МП41А, П217В. Питание измерительной схемы осуществляется



переменным током через средние точки вторичных обмоток трансформаторов *Тр2* и *Тр3*.

Усилитель имеет пять узлов: источник питания, входное устройство, демодулятор-модулятор (ДММ), усилитель напряжения и усилитель мощности.

Источник питания усилителя представляет собой два трансформатора. Нагрузкой силового трансформатора *Тр2* является выпрямитель, собранный по двухполупериодной схеме выпрямления (диоды *Д7—Д8*). От данного выпрямителя питаются входное устройство и усилитель напряжения.

Нагрузкой трансформатора *Тр3* является выпрямитель, собранный по мостовой схеме (диоды *Д9—Д12* типа Д2265), он осуществляет питание усилителя мощности. Трансформатор *Т1* является согласующим звеном для связи усилителя напряжения с усилителем мощности.

Входное устройство имеет пять транзисторов *Т1—Т5*; транзисторы *Т1—Т2* охвачены глубокой отрицательной обратной связью, поэтому обеспечивают большое входное сопротивление на разъеме *ШЗ* (клемы 1—2).

Транзисторы *Т3—Т5* представляют усилитель напряжения, охваченный глубокими отрицательными обратными связями.

Переменный резистор *R6* осуществляет регулирование коэффициента усиления усилителя за счет плавной регулировки сигнала с входного устройства.

Резисторы *R7, R8*, осуществляя отрицательную обратную связь по постоянному току, стабилизируют режим работы транзистора *Т3*.

Резистор *R15*, являясь отрицательной обратной связью по переменному току, позволяет увеличить входное сопротивление и стабилизировать коэффициент усиления усилителя.

Усилитель напряжения собран на трех транзисторах *Т9—Т11*. Фильтр *RC* (*R37, R38, C14*) и стабилитроны *Д4—Д5* осуществляют стабилизацию напряжения.

Резистор *R26*, являясь глубокой отрицательной связью по постоянному току, позволяет увеличить стабильность режимов транзисторов и коэффициент усиления усилителя.

Резистор *R41*, осуществляя функции подобно резистору *R26*, является глубокой отрицательной связью по переменному току.

Резисторы *R39, R40*, являясь отрицательной обратной связью по выходному сигналу усилителя, уменьшают выходное сопротивление усилителя.

Усилитель мощности, собранный на двух транзисторах *Т12—Т13*, выполнен по схеме последовательного баланса с включением транзисторов по схеме с общим эмиттером.

Напряжение с усилителя мощности подается на клеммы 3, 7 разъема *Ш2*, осуществляя привод реверсивного двигателя прибора *КСД-3*.

Демодулятор-модулятор (ДММ), собранный на интегральных прерывателях *Т6—Т8*, производит двойное электрическое преобразование: преобразование постоянного напряжения в пере-

менное осуществляется интегральным прерывателем *T8*, а затем выпрямление переменного тока выполняют интегральные прерыватели *T6—T7*, собранные по двухполупериодной схеме.

Транзисторы в демодуляторе-модуляторе работают в ключевом режиме, а управление ключами выполняется переменным напряжением от силового трансформатора *Tr2*.

Если на вход ДММ поступает сигнал, сдвинутый относительно напряжения управления ключами на 90° , то выходной сигнал ДММ равен «0», т.е. на базу транзистора *T9* усилителя напряжения сигнал не поступает.

§ 9. Сигнализаторы потока и протока

При отсутствии масла в системе смазки оборудования возникает «сухое» трение вращающихся и трущихся частей, происходит «задиры» колец, поршней, оплавление баббитовых вкладышей подшипников. В кондиционерах, калориферах и электронагревателях при отсутствии потока воздуха нарушается тепловой режим, это приводит к перегреву и выходу из строя оборудования.

В связи с этим для защиты технологического оборудования применяют сигнализаторы потока и протока.

Реле протока типа РП (рис. 118) применяют для контроля протока жидкостей. При протекании рабочей жидкости через прибор клапан 5 под действием давления жидкости перемещается вверх, укрепленный на клапане шток 3 с помощью толкателя 2

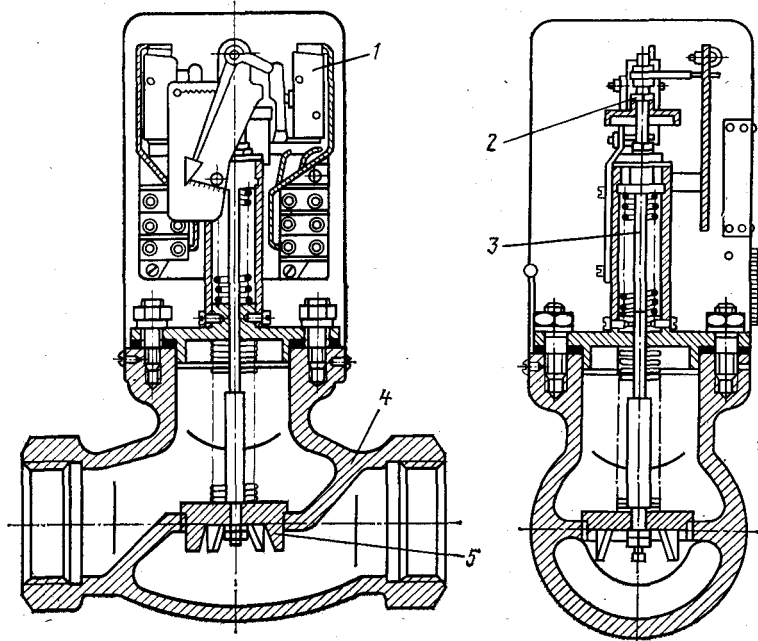


Рис. 118. Реле протока типа РП

переключает контакты микропереключателя 1. Настройка реле протока на соответствующее срабатывание осуществляется перемещением микропереключателей 1 с кронштейном относительно корпуса 4 реле.

Реле потока РПВ-2 используют для контроля наличия потока воздуха или газа в оборудовании. Чувствительным элементом реле является подвешенная на оси заслонка, расположенная в корпусе реле. Под действием потока контролируемой среды заслонка отклоняется и своим поводком переключает ртутный контактный элемент — «свинку».

Реле имеет диапазон настройки по скорости потока 4—10 м/с, допустимая температура среды 55°C.

Реле контроля смазки типа РКС (рис. 119) применяется для контроля разности давлений масла, воздуха, фреона и т. д. на входе и выходе оборудования. Чувствительными элементами прибора являются два связанных между собой сильфона, на которые через специальные штуцера подаются контролируемые давления.

При понижении разности давлений до величины, установленной на шкале прибора, за счет пружины «диапазон настройки» происходит размыкание контактов сигнального устройства, а при повышении разности давлений до установленного предела, происходит обратное переключение контактов в положение «замкнуто».

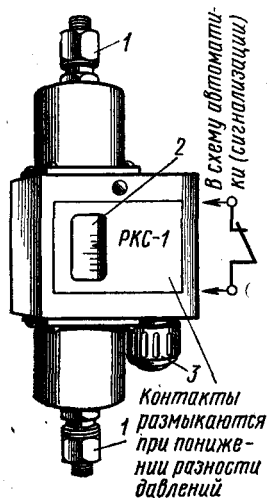


Рис. 119. Реле контроля смазки типа РКС:

1 — штуцер, 2 — шкала за-
дания, 3 — разъем

Контрольные вопросы

1. Поясните принцип действия магнитной муфты поплавкового расходомера типа ДП.
2. В чем заключается принцип действия расходомеров постоянного перепада (ротаметров)?
3. Почему дифманометры-расходомеры имеют квадратичное лекало, а дифманометры-перепадомеры (уровнемеры) — линейное лекало?
4. Объясните устройство и принцип действия мембранного дифманометра типа ДМ.
5. Каковы особенности эксплуатации расходомеров переменного перепада?
6. В чем заключается принцип действия индукционных расходомеров типа ИР-51?

ГЛАВА VII

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ

§ 1. Основные понятия

Непрерывные технологические процессы в различных отраслях промышленности часто требуют постоянного автоматического контроля количества накопленного материала, сырья, жидкостей и

газов. Контроль уровня часто имеет также важное значение и для безаварийной работы оборудования. Например, на водородных станциях понижение уровня подпитки электролизеров может послужить причиной серьезной аварии; на тепловых электростанциях понижение и повышение заданных уровней воды в барабане котла приводит к разрушению лопаток турбин, пережогу кипяtilьных труб.

По принципу измерения уровнемеры делятся на следующие основные группы: поплавковые и буйковые, мембранные, дифференциальные манометры, емкостные, радиоактивные.

По своей конструкции уровнемеры могут иметь шкальные и бесшкальные датчики, работающие с самопишущими и регулирующими вторичными приборами. С помощью таких приборов осуществляется автоматический контроль и регулирование уровня жидкостей и сыпучих материалов, а также звуковая и световая сигнализации повышения или понижения уровня контролируемой среды.

Приборы измерения уровня в зависимости от категории взрывозащищенности могут быть использованы только в соответствии с их паспортными данными и инструкциями заводов-изготовителей.

Во взрывоопасных производствах должны использоваться для измерения и сигнализации уровней легковоспламеняющихся и горючих жидкостей и сред пневматические и емкостные взрывозащищенные приборы.

Согласно действующим правилам ПИВРЭ (правил изготовления взрывозащищенного электрооборудования) взрывозащищенные приборы всех типов (уровня, давления, расхода, температуры, газового анализа и т. д.) имеют индекс ВЗГ (взрывозащищенный, герметичный).

Индекс, имеющий вид дроби, отливают на крышке датчика прибора: ВЗГ/метан, ВЗГ/серный эфир, ВЗГ/водород.

Числитель дроби показывает взрывозащищенное исполнение датчика, а знаменатель — рабочую среду, в которой допускается эксплуатация прибора.

§ 2. Поплавковые и буйковые приборы

Поплавковые и буйковые приборы относят к наиболее простым приборам измерения уровня. Принцип действия поплавковых приборов основан на использовании выталкивающей силы, действующей на погруженное в жидкость тело.

Наиболее простым типом поплавковых приборов являются приборы тросового типа (рис. 120,б). Поплавок 4 через гибкий трос 2 связан с вращающимся шкивом 1. Для уравнивания всей системы на конце троса закреплен противовес 5. С изменением уровня контролируемой жидкости происходит перемещение поплавка и троса. Для сигнализации минимального и максимального уровней на тросе устанавливают два ограничителя уровня 3, которые при достижении заданного уровня перекидывают коромысло 7, что приводит к переключению сигнальных электрических

ких контактов 6. Перемещением ограничителей уровня можно изменять диапазон сигнализации поплавкового прибора.

На рис. 120,а показан поплавковый прибор с одним рычагом 2, соединяющий поплавок 1 с контрольным устройством 3.

Приборы тросового типа нельзя применять в резервуарах, находящихся под избыточным давлением, при низких температурах и во взрыво- и пожароопасных жидкостях. Принцип действия буйкового прибора показан на рис. 121. Стальной цилиндрический

буйек 8 подвешен на конце рычага 7, который связан с торсионной трубкой 6. Под действием буйка к упругой трубке прилагается деформирующий момент. При этом масса буйка выбирается так, чтобы он не всплывал при полном его погружении в жидкость. С повышением уровня жидкости увеличивается глубина погружения буйка и за счет

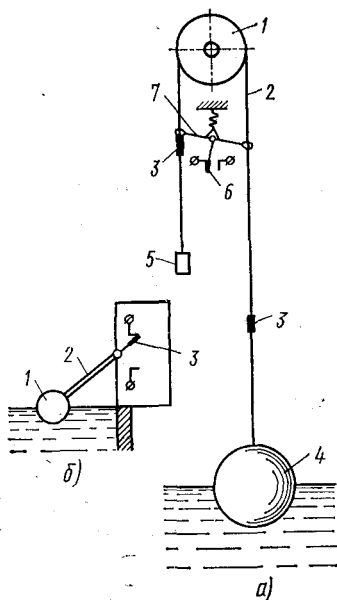


Рис. 120. Поплавковые приборы измерения уровня:

а — тросовый, б — рычажный с поплавковой камерой

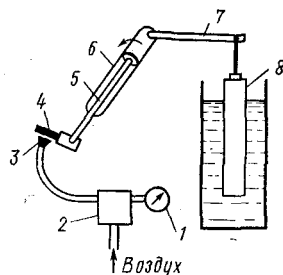


Рис. 121. Буйковый прибор измерения уровня

увеличения выталкивающей силы уменьшается его масса, что вызывает пропорциональное уменьшение угла закручивания упругой трубки 6 и стального стержня 5, закрепленного внутри трубки. На противоположном конце стержня 5 установлена заслонка 4 пневмоустройства, которая отклоняется относительно сопла 3 и на тот же угол.

Пневмоустройство 2 усиливает малое угловое перемещение заслонки в пропорциональное изменение давления сжатого воздуха, контролируемого специальным манометром 1, шкала которого переградуирована в уровень.

Указатель уровня УДУ-5 предназначен для контроля уровня жидкостей в закрытых и открытых емкостях высотой до 12 м. Указатель имеет датчик и вторичный показывающий сигнализирующий прибор.

На рис. 122,а представлена схема указателя уровня УДУ-5. Металлический поплавок 9 находится на поверхности контролируе-

мой жидкости. При изменении уровня жидкости поплавков перемещается по направляющим 7, которые жестко закреплены на дне рабочей емкости. Натяжным устройством 6 производится необходимый натяг направляющих. Поплавков соединен со стальной перфорированной лентой 8, которая через направляющие ролики 4, 5 сматывается или наматывается с барабана 1 отсчетного механизма 3. Зубчатый шкив 2 обеспечивает надежное зацепление перфорированной ленты.

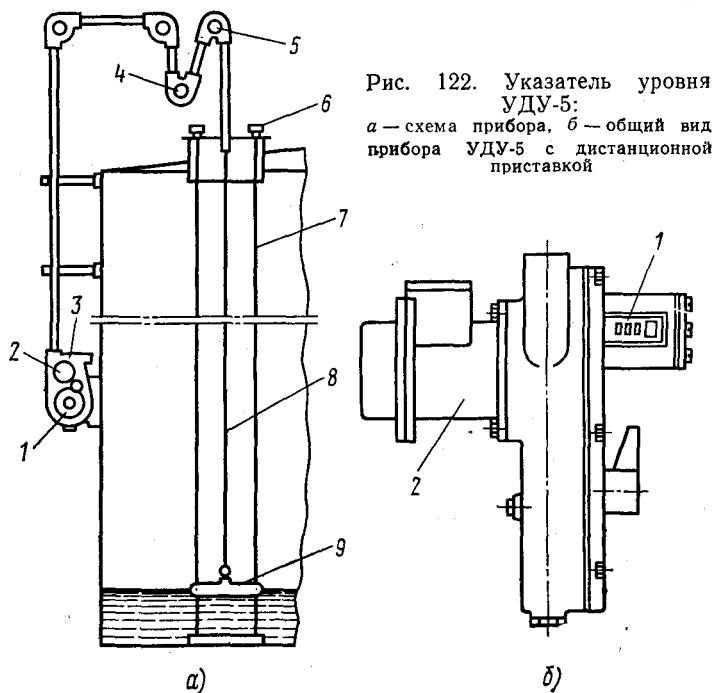


Рис. 122. Указатель уровня
УДУ-5:

а — схема прибора, *б* — общий вид
прибора УДУ-5 с дистанционной
приставкой

Отсчетный механизм 1 прибора УДУ-5 с дистанционной приставкой (рис. 122, б) представляет собой десятичный счетчик с тремя цифровыми барабанами и одним диском, цена деления которого равна 1 мм. Полная емкость счетчика равна 99 999 мм, однако из-за конструктивных особенностей прибор может использоваться для измерения уровней только до 12 000 мм.

К специальному фланцу отсчетного механизма 1 крепится потенциометрическая приставка 2 для дистанционной передачи показаний и сигнализации предельных значений уровней. Приставка представляет собой устройство, преобразующее угол поворота барабана в электрический сигнал.

При изменении положения поплавка уровнемера перемещаются щетки реохорда дистанционной приставки, которые изменяют значение сопротивления. Сопротивление, изменяемое в зависимости от уровня контролируемой жидкости, измеряется электронным мостом. Приставка имеет щетки «метров» и «сантиметров».

Комплектно с прибором УДУ-5 выпускается пульт контроля и сигнализации ПКС, который имеет две модификации: для щитового и настольного монтажа. На лицевой панели пульта установлен электронный автоматический показывающий мост типа ЭМВ, шкала которого переградуирована в метры и сантиметры. Там же размещены сигнальные лампы предельных уровней, переключатели диапазонов «метры» и «сантиметры», тумблеры и ключи управления световой и звуковой сигнализаций.

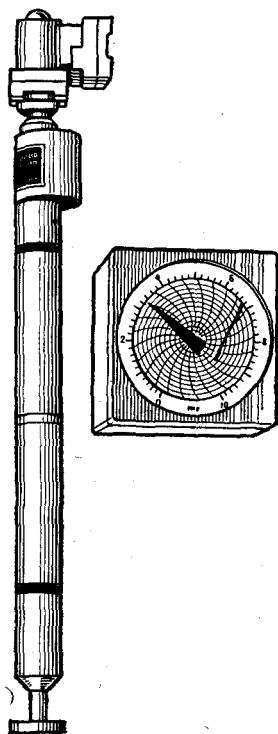


Рис. 123. Индикатор уровня типа ДИУ

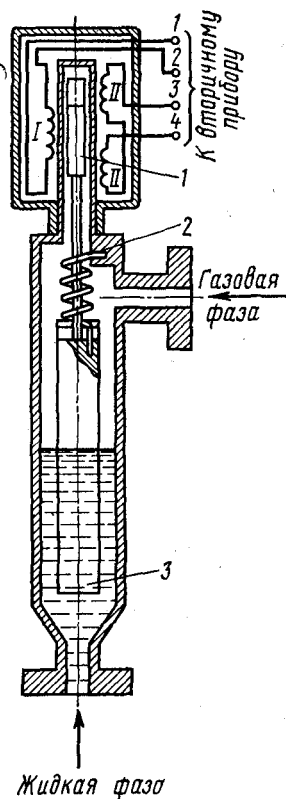


Рис. 124. Датчик уровня типа ДИУ

В зависимости от модификации пульт ПКС может контролировать 10—20 резервуаров, имеющих указатели уровня типа УДУ-5.

Дистанционный индикатор уровня типа ДИУ (рис. 123) используется для автоматического контроля и регулирования уровня жидкости в сосудах, работающих под давлением до 32 МПа (320 кгс/см²). В зависимости от модификации индикатор типа ДИУ применяется для измерения уровня в пределах 0—1600 мм. Прибор имеет взрывозащищенное исполнение и состоит из индикатора уровня буйкового типа, электрического датчика с диффе-

рнциально-трансформаторной схемой и вторичного электронного прибора.

На рис. 124 показан датчик типа ДИУ. Буюк 3, заключенный в корпус, имеет цилиндрическую форму и находится в измеряемой жидкости. При изменении уровня жидкости буюк изменяет степень погружения и несколько перемещается в вертикальном направлении. Противодействующая пружина 2 под действием разницы массы буюка и выталкивающей силы деформируется. Деформация зависит от коэффициента жесткости пружины и предела измеряемого уровня. Сердечник 1 электрического датчика жестко связан с буюком и при изменении уровня жидкости перемещается относительно обмоток I и II в пределах 5—30 мм в зависимости от измеряемого уровня. Обмотка I питается напряжением переменного тока. При перемещении сердечника на зажимах 3—4 вторичных обмоток под действием магнитного потока первичной обмотки наводится э. д. с., величина которой измеряется электронным прибором и зависит от положения сердечника 1.

Таким образом, между уровнем и величиной э. д. с. существует определенная зависимость, используя которую можно отградуировать шкалу вторичного прибора в уровень контролируемой жидкости.

Сигнализатор уровня типа СУ представляет собой поплавковое рычажное бескамерное реле уровня. Прибор предназначен для контроля уровня неагрессивных взрывобезопасных жидкостей в диапазоне 20—150 мм.

Устройство прибора показано на рис. 125,а. Поплавок 1, находящийся на поверхности контролируемой жидкости, через тягу 2 и направляющую 4 может свободно перемещаться относительно оси 3. При изменении уровня жидкости поплавок изменяет свое положение и перемещает поводок 5 относительно оси. При этом тяга 6, соединенная с поводком, поворачивает рычаг 7, который жестко связан с поворотным валиком. На валике с помощью специальных держателей укреплены два ртутных переключателя 8, которые в зависимости от уровня могут замыкать или размыкать свои контакты в цепи световой и звуковой сигнализаций уровней контролируемой жидкости.

Ртутный переключатель «свинки» (рис. 125,б) представляет собой стеклянный корпус 1 с впаянными контактами 2, внутри корпуса находится определенное количество ртути 3. При измене-

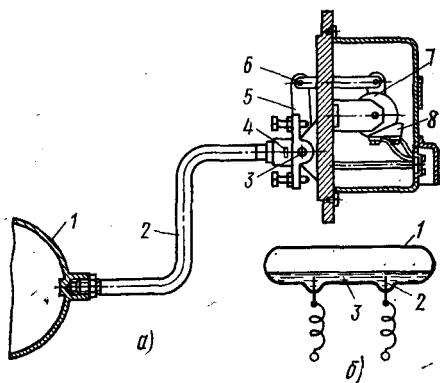


Рис. 125. Сигнализатор СУ-4:
а — устройство прибора, б — ртутный переключатель

нии положения «свинки» ртуть, перемещаясь внутри корпуса, замыкает или размыкает контакты переключателя.

Буйковые уровнемеры с пневмовыходом УБ-П и с электрическим выходом УБ-Э используют для непрерывного измерения уровня жидкостей (рис. 126, а).

Уровнемеры применяют в комплекте с вторичными приборами, регуляторами, работающими с выходными стандартными пневматическими сигналами 20—100 кПа (0,2—1,0 кгс/см²) или электрическим токовым сигналом 0—5 мА.

Принцип действия приборов типа УБ-П основан на пневматической силовой компенсации (рис. 126, б).

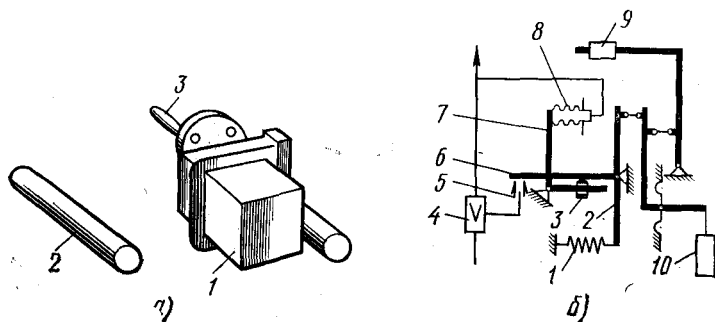


Рис. 126. Уровнемер буйковый типа УБ-П:

а — общий вид: 1 — пневмопреобразователь, 2 — датчик (бук), 3 — рычаг подвеса датчика; б — принципиальная схема: 1 — пружина корректора нуля, 2 — Т-образный рычаг, 3 — подвижная опора, 4 — пневмореле, 5 — сопло, 6 — заслонка, 7 — Г-образный рычаг, 8 — сильфон обратной связи, 9 — груз, 10 — чувствительный элемент (бук)

Изменение уровня жидкости преобразуется на чувствительном элементе (буйке) 10 измерительного блока в пропорциональное усилие, которое автоматически уравнивается усилием сильфона обратной связи 8. Это усилие, развиваемое давлением сжатого воздуха, является также выходным сигналом уровнемера.

Устройство буйкового уровнемера с пневмовыходом типа УБ-П аналогично описанному выше манометру с пневмовыходом типа МС-П.

При изменении измеряемого уровня происходит небольшое перемещение рычажной системы передаточного механизма и связанной с рычагом 2 заслонки 6 относительно сопла 5. Возникшее давление в линии сопла поступает в пневмореле 4 и сильфон обратной связи 8.

Чувствительным элементом уровнемера является стальной буюк 10. При измерении уровней жидкостей выше 1,6 м буюк изготавливают составным свинчивающимся. Буюк подвешивается к концу Г-образного рычага 7. Начальная масса буйка уравнивается специальным грузом 9.

§ 3. Емкостные уровнемеры

В настоящее время перспективными приборами измерения уровня электропроводных и неэлектропроводных материалов являются

емкостные приборы. В этих приборах в качестве чувствительного элемента используется электрическая емкость, образованная специальным рабочим электродом и металлической поверхностью стенки резервуара, между которыми находится измеряемая среда.

Электрическая емкость плоского конденсатора равна: $C = \epsilon S / (4\pi d)$, где ϵ — диэлектрическая проницаемость среды между электродами; S — площадь каждого электрода; d — расстояние между электродами.

При измерении уровня неэлектропроводных материалов изменяется ϵ , а при измерении уровня электропроводных материалов изменяется d , так как в этом случае вторым электродом служит измеряемая среда со стенкой резервуара.

Емкостные приборы измерения уровня можно разбить на две основные группы: мостовые и резонансные.

В мостовых приборах электрическая емкость, образованная датчиком-электродом и поверхностью резервуара, включается в одно из плеч моста. При изменении уровня изменяется емкость датчика, это вызывает разбаланс моста и на выходе появляется напряжение, которое измеряется вторичным электронным прибором, отградуированным в единицах контролируемого уровня.

В резонансных приборах электрическая емкость включается параллельно с индуктивностью, образуя резонансный контур, который питается от высокочастотного генератора. Контур настроен на резонанс питающей частоты генератора при начальной емкости датчика, соответствующей наличию или отсутствию измеряемой среды на заданном уровне. С изменением уровня изменяется емкость датчика, что приводит к изменению частоты контура и нарушению условия резонанса, т. е. к срыву резонанса. При резонансе сопротивление контура минимальное, при срыве резонанса сопротивление контура резко увеличивается. На принципе изменения сопротивления контура при изменении контролируемого уровня строятся электронные схемы емкостных уровнемеров.

Емкостные приборы имеют высокую чувствительность, большое быстродействие, малый габарит. В качестве электродов в зависимости от измеряемой среды применяют датчики с покрытием из поливинилхлорида, фторопласта и т. д. В результате такого покрытия приборы могут использоваться в агрессивных средах, где применение контактных датчиков практически невозможно.

Электронный емкостный индикатор уровня типа ЭИУ-2 (рис. 127) используется для непрерывного дистанционного измерения уровня жидких и сыпучих электропроводных и диэлектрических сред. Индикатор имеет датчик, электронный блок и вторичный регистрирующий прибор. Пределы измерения прибора в зависимости от типа датчика составляют 1 — 20 м.

При изменении контролируемого уровня изменяется емкость датчика D в индуктивно-емкостном мосте, состоящего из индуктивностей обмоток 3 — 4, 4 — 5, трансформатора $Tr1$ и конденсаторов $C7$ — $C11$. Вследствие этого нарушается начальное равно-

весеие моста и на выходе моста появляется сигнал разбаланса, пропорциональный контролируемому уровню.

Этот сигнал поступает на базу эмиттерного повторителя ПП2, затем на усилительный каскад-транзистор ПП3 и выходной каскад-транзистор ПП4. Показывающий прибор (миллиамперметр М-325) включен в эмиттерную цепь выходного каскада (транзистор ПП4). Выходное напряжение, снимаемое с резистора R14, в зависимости от контролируемого уровня колеблется в пределах 0 — 100 мВ.

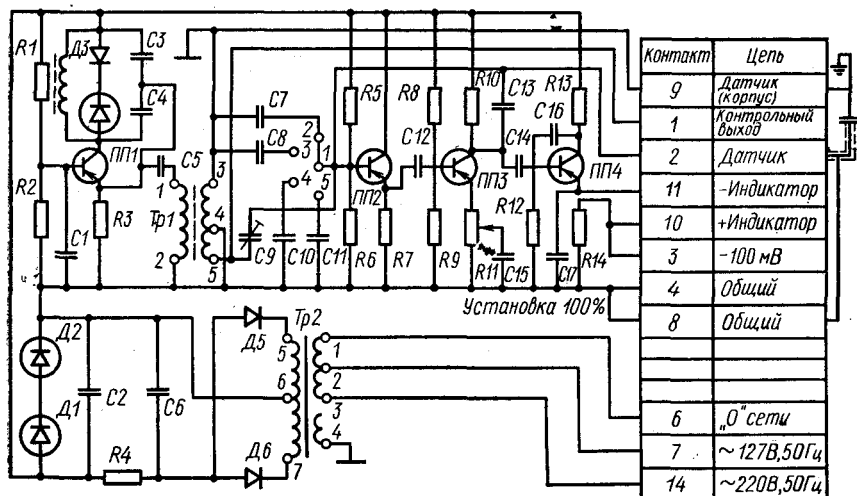


Рис. 127. Принципиальная электрическая схема прибора ЭИУ-2

Подстройка чувствительности в начале шкалы осуществляется с помощью подстроечного конденсатора C9, в конце шкалы — потенциометром R11.

Измерительный мост прибора питается от генератора синусоидальных колебаний частотой 100 кГц. В качестве генератора используется транзистор ПП1 со схемой LC-контура.

Для дистанционной передачи показаний к клеммам 3—4 разъема подключают вторичный электронный регистрирующий потенциометр с входным сигналом 0—100 мВ.

Кроме индикаторов ЭИУ, позволяющих непосредственно измерять контролируемый уровень, применяют также электронные приборы, предназначенные только для автоматической сигнализации заданных уровней. К таким приборам относят электронный сигнализатор уровня ЭСУ и малогабаритный сигнализатор уровня МЭСУ (рис. 128).

Электронный блок прибора МЭСУ имеет взрывозащищенное исполнение ВЗГ, поэтому может использоваться для автоматического контроля и сигнализации уровней легковоспламеняющихся и горючих жидкостей до категории ЗГ (по правилам ПИВРЭ).

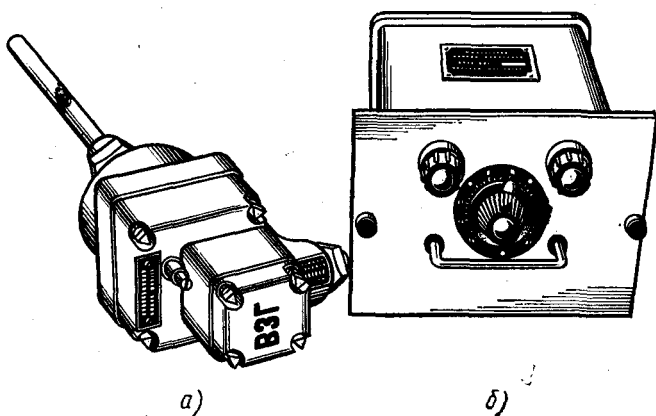


Рис. 128. Электронный сигнализатор МЭСУ:

а — электронный блок, б — силовой блок

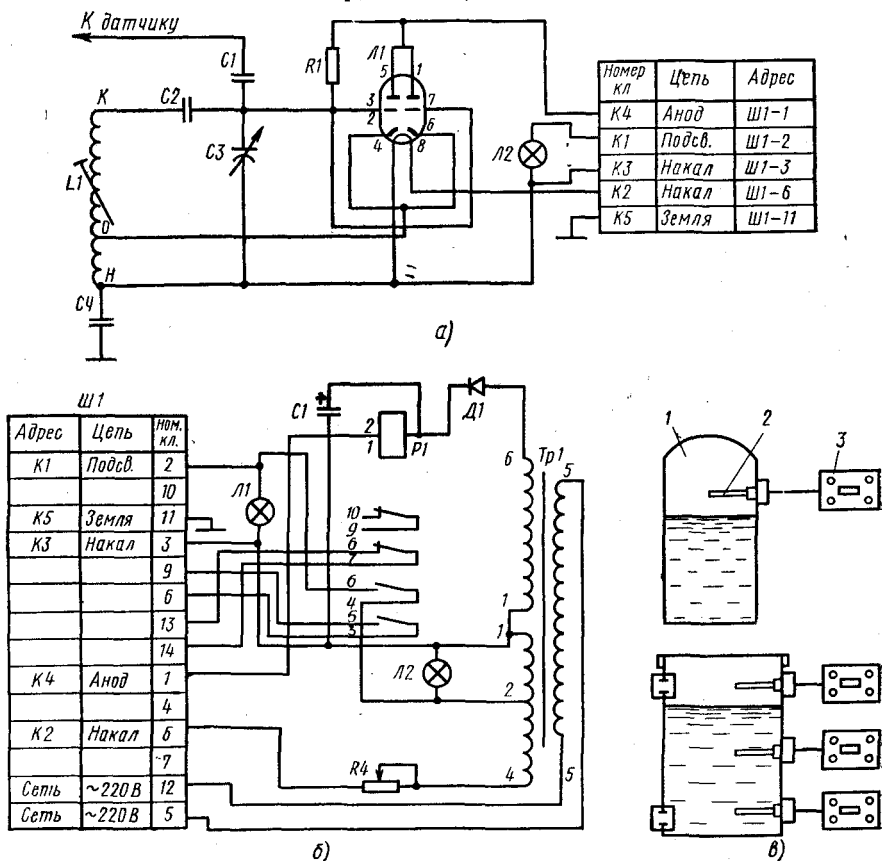


Рис. 129. Электрическая схема электронного сигнализатора МЭСУ:

а — электронный блок, б — силовой блок, в — схема установки датчиков МЭСУ в резервуарах; 1 — резервуар, 2 — датчик, 3 — электронный блок

Силовой блок не предназначен для установки во взрывоопасных помещениях, а также работы в условиях вибрации и тряски. Посредством таких приборов можно осуществлять световую и звуковую сигнализацию контролируемых уровней, а также поддерживать постоянный уровень среды автоматической подпиткой резервуара рабочей жидкостью.

Приборы состоят из силового и электронного блоков с емкостным датчиком. Силовой блок (рис. 129, б) состоит из трансформатора *Тр1*, предназначенного для питания электронного блока, вентиля *Д1*, собранного по однополупериодной схеме выпрямления для питания анодной цепи лампы *Л1* типа 6Н16Б. В анодную цепь лампы включено электромеханическое реле *Р1* типа МКУ-48.

Электронный блок (рис. 129, а) включает в себя генератор высокой частоты, собранный на лампе *Л1* типа 6Н16Б, и емкостный датчик, представляющий собой электрод, покрытый изоляционным материалом — фторопластом. Если уровень ниже заданного предела, то емкость датчика меньше критической и прибор генерирует высокочастотные колебания. При этом ток в анодной цепи лампы и реле минимальный. При достижении средой заданного контролируемого уровня резко изменяется емкость датчика, происходит срыв высокочастотных колебаний генератора, резко возрастает анодный ток и ток в катушке реле *Р1*, которое переключает свои контакты в цепи сигнализации.

Прибор настраивают на рабочем резервуаре, при этом оценкой правильной работы прибора является зажигание сигнальной лампы при прикосновении датчика к контролируемой среде. Емкость *С3* является подстроечной емкостью контура.

§ 4. Дифференциальные и пьезометрические приборы

Дифференциальные манометры, как датчики, применяются для измерения и контроля уровня в комплекте со вторичными приборами — уровнемерами.

Рабочий диапазон измерения таких приборов составляет: поплавкового дифманометра типа ДП-63 — 1000 см, мембранного дифманометра типа ДМ-25 — 6300 см, сильфонного дифманометра типа ДС-25 — 6300 см.

Для измерения уровня жидкостей в закрытых резервуарах дифманометр подключают следующим образом: плюсовую импульсную трубку датчика подключают через запорный вентиль к нижней точке резервуара; минусовую импульсную трубку датчика подключают к уравнительному сосуду, соединенному с верхней точкой резервуара. При таком подключении дифманометр измеряет разность гидростатических давлений в измеряемом резервуаре и уравнительном сосуде.

При такой схеме подключения датчика необходимо учитывать постоянную погрешность измерений, связанную с перепадом давления, возникающего от разности температур жидкости в измеряемой емкости (танке, резервуаре, газгольдере) и температурой окружающей среды.

В измерениях уровней для уменьшения погрешности используют двухкамерные уравнильные сосуды.

Электрическая схема соединения датчика-дифманометра и вторичного прибора-уровнемера с дифференциально-трансформаторной схемой аналогична приведенной схеме (см. рис. 115). Отличительным элементом вторичного прибора-уровнемера с дифференциально-трансформаторной схемой является секторное линейное лекало, в приборе-расходомере — квадратичное лекало.

Пьезометрические приборы. Для измерения уровней жидкостей применяют также приборы, принцип действия которых основан на свойстве контролируемого материала оказывать гидростатическое давление на дно или стенки рабочей емкости.

Закон гидростатического давления в общем виде можно записать: $P = \gamma H$, где P — давление жидкости, γ — плотность жидкости, H — высота столба жидкости.

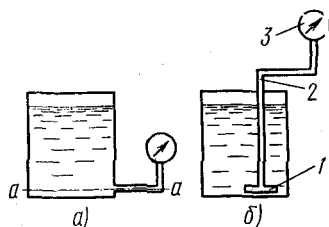


Рис. 130. Манометрические способы измерения уровня:
а — с отбором контролируемой среды, б — мембранный

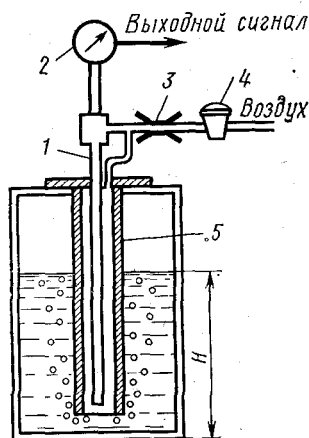


Рис. 131. Датчик уровня типа ДДП:
1, 5 — трубки, 2 — контрольный прибор, 3 — дроссель, 4 — редуктор, H — уровень

Наиболее распространенными приборами этой группы являются манометрические, дифференциально-манометрические и пневматические приборы.

На рис. 130, а показана схема измерения уровня жидкости с помощью манометра, шкала которого отградуирована в единицах измерения уровня. Такие схемы отличаются простотой, однако чтобы не вносить дополнительной погрешности при измерениях, прибор необходимо устанавливать в нижней части емкости (отметка а — а).

Мембранные уровнемеры работают по схеме, приведенной на рис. 130, б. Чувствительным элементом, воспринимающим давление жидкости, является мембрана 1, которая передает давление на измерительный прибор 3 через импульсную трубку 2, заполненную жидкостью или газом.

В случаях измерения уровней агрессивных, кристаллизующихся жидкостей, пульп широко применяют пьезометрические датчики уровня типа ДДП, принцип действия которых показан на

рис. 131. Если трубку 1 поместить внутрь трубки 5 и подавать через трубку 1 определенное количество воздуха, то он вытеснит жидкость из трубки 5. Во внутренней полости трубки установится давление P , определяемое глубиной погружения трубки и плотностью жидкости. Шкала прибора 2, измеряющего это давление, пересчитана в единицы измерения уровня.

Для дистанционной передачи показаний применяют как пневматические датчики уровня, так и дифференциальные манометры. При этом давление воздуха в пневмотрубке преобразуется в стандартный выходной пневматический или электрический сигнал, величина которого пропорциональна величине контролируемого уровня жидкости.

Вторичные измерительные приборы в зависимости от потребности могут быть показывающими, самопишущими и сигнализирующими.

При дистанционном измерении уровня погрешность прибора определяется суммарной погрешностью преобразователя и вторичного прибора, величина которой составляет 2,5—3,5 %. Допустимый диапазон измерения уровня составляет от 0 до 40 кПа (4000 мм вод. ст.).

§ 5. Радиоизотопные приборы

Практическое применение для измерения уровня получил радиоизотопный метод, основанный на поглощении или ослаблении средой потока гамма-лучей, просвечивающих контролируемую среду.

На этом принципе работают все радиоизотопные приборы контроля уровня, которые незаменимы в тех случаях, когда контроль должен осуществляться без проникновения в контролируемую среду. Такие приборы отличаются высокой надежностью и экономичностью.

Радиоизотопные приборы контроля уровня состоят из двух основных частей: источника излучения и приемника излучения. Источник излучения имеет коллиматор, позволяющий формировать направленный пучок излучения радиоактивного вещества. Приемник излучения преобразует действие гамма-лучей в электрические сигналы для автоматического контроля или регулирования контролируемого уровня. Он представляет собой датчик-счетчик излучения и электронный блок, усиливающий сигнал излучения.

В качестве радиоактивного вещества (источника излучения) применяется цезий-137 с активностью не более 0,5 мг·экв радия и периодом полураспада 33 года.

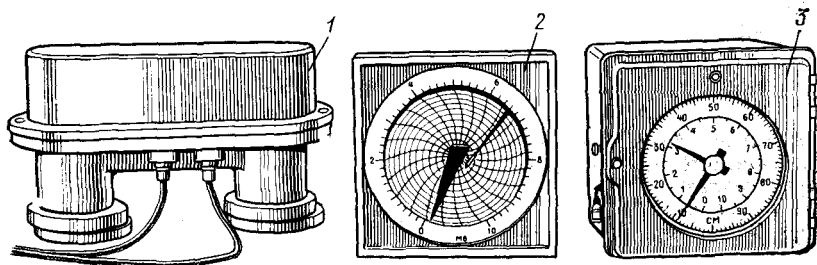
Любое радиоактивное вещество характеризуется определенной активностью.

Единицей активности радиоактивного вещества является кюри.

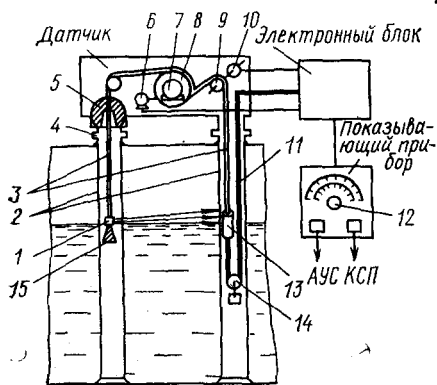
Кюри есть такое количество радиоактивного вещества, в котором за 1 с происходит $3,7 \cdot 10^{10}$ актов распада. Однако в технике активность чаще измеряют в радиевых эквивалентах.

Миллиграмм-эквивалент радия (мг·экв радия) — это гамма-эквивалент радиоактивного вещества, гамма-излучение которого при данной фильтрации создает такую же мощность дозы, что и гамма-излучение одного миллиграмма радия Государственного эталона радия СССР при платиновом фильтре толщиной 0,5 мм.

Радиоизотопный следящий уровнемер УР-8 (рис. 132, а) позволяет осуществлять непрерывный дистанционный контроль уровня сыпучих материалов и жидкостей при рабочих давлениях до 25 МПа (250 кгс/см²). Диапазон измерения уровня 200, 400, 600, 800 и 1000 см.



а)



б)

Рис. 132. Радиоизотопный уровнемер УР-8:

а — общий вид: 1 — электромеханический блок, 2 — вторичный регистрирующий прибор, 3 — блок управления; б — схема: 1 — источник излучения, 2 — каналы, 3 — ленты, 4 — опоры, 5 — наконечник, 6 — двигатель, 7 — передача, 8 — барабан, 9, 10 — ролики, 11 — трос, 12 — вторичный прибор, 13 — приемник излучения, 14 — ролик, 15 — поплавок

Прибор представляет собой автоматическую следящую систему (рис. 132, б). Электрический реверсивный двигатель 6 через червячную передачу 7 вращает барабан 8, на который наматываются две металлические ленты 3. На концах лент помещены источник излучения 1 и приемник излучения 13, находящиеся в одной горизонтальной плоскости. Если изменяется уровень контролируемой среды, то изменяется положение источника излучения 1; при этом пучок γ -лучей в зависимости от уровня проходит выше или ниже уровня приемника. Приемник регистрирует изменение интенсивности излучения и выдает электрический сигнал на вращение двигателя 6, который вновь восстановит систему источ-

ник излучения — приемник излучения на один горизонтальный уровень. Уровнемер имеет вторичный показывающий прибор 12 электрической или пневматической системы, шкала которого отградуирована в единицах измерения уровня.

Радиоизотопный автоматический уровнемер типа УДАР-5 позволяет измерять, сигнализировать и регулировать контролируемый уровень щелочных, кислотных, взрывоопасных жидкостей и сыпучих материалов.

Прибор имеет датчик, электронно-механический блок и пульт управления. Источником радиоактивного излучения является изотоп — цезий-137. Прибор позволяет измерять уровень до 15 м с высокой точностью (± 2 мм). Мощность прибора не превышает 80 Вт при напряжении сети 220 В, частоты 50 Гц.

Принцип действия и устройство прибора подобны принципу действия и устройству прибора типа УР-8.

Контрольные вопросы

1. Какие обозначения имеют приборы взрывозащищенного исполнения?
2. Поясните принцип действия указателя уровня типа УДУ-5, каково назначение поплавка?
3. Будет ли правильно работать уровнемер типа УБ-П при неуровновешенной системе боек — противовес?
4. Поясните устройство радиоизотопного уровнемера УР-8?

ГЛАВА VIII

АВТОМАТИЧЕСКИЕ АНАЛИЗАТОРЫ ГАЗОВ И ЖИДКОСТЕЙ

§ 1. Основные понятия

В настоящее время ряд производственных технологических процессов в химической, газовой, металлургической, машиностроительной и электронной промышленности контролируются с помощью автоматических газоанализаторов. Технологические газоанализаторы позволяют автоматизировать процессы и улучшать качество продукции.

Существуют газоанализаторы, контролирующие загазованность производственных помещений на предмет соблюдения правил техники безопасности. Например, при производстве водорода в химической и электронной промышленности газоанализаторы контролируют как качество вырабатываемого водорода, так и загазованность им производственных помещений. При недопустимой концентрации водорода в производственном помещении включается световая и звуковая сигнализация, а в некоторых случаях автоматически отключается работающее оборудование.

В отдельных отраслях машиностроения при использовании печей отжига на природном газе (или водороде) автоматические сигнализаторы позволяют определять загазованность производственных помещений и предотвращать возможность образования взрывоопасных концентраций смесей воздух — водород, воздух — природный газ.

В электронной промышленности при выпуске полупроводниковых приборов, генераторных ламп и больших интегральных схем качество энергоносителей — азота, аргона и водорода контролируется с помощью целого ряда сложнейших современных автоматических газоанализаторов. Таким образом, автоматические газоанализаторы можно подразделить на две группы: анализаторы для контроля и управления производственными процессами; анализаторы безопасности производства.

Для получения показаний прибора, зависящих только от концентрации определяемого компонента газа, в газоанализаторах предусматривают стабилизацию отдельных параметров или компенсацию их влияния.

Основные параметры, подлежащие стабилизации в газоанализаторах: величина расхода анализируемого газа, пропускаемого через датчик; напряжение питания измерительной схемы; температура анализируемого газа и окружающей среды.

Расход газа, пропускаемого через датчик, стабилизируется, как правило, регулятором расхода. В некоторых случаях вместо регулятора устанавливают ротаметр, позволяющий поддерживать требуемый паспортный расход через датчик.

Напряжение питания во многих типах газоанализаторов стабилизируется феррорезонансным стабилизатором типа С-0,09.

Температура газа стабилизируется узлами термостатирования в приборах, требующих стабилизации по принципу действия прибора.

§ 2. Единицы измерения концентрации

При практических измерениях концентрация веществ выражается в весовых и объемных единицах.

Весовая концентрация выражается весовым количеством вещества в единице объема: числом граммов вещества в 1 м³ (г/м³); числом граммов вещества в 1 л (г/л); числом граммов вещества в 100 г смеси (% весовые); числом миллиграммов вещества в 1 м³ (мг/м³); числом миллиграммов вещества в 1 л (мг/л).

Однако при измерении малых весовых концентраций (микроконцентраций) такие единицы становятся неприемлемыми. При этом весовую концентрацию удобно выражать в гаммах. 1 гамма = 10^{-3} мг = 10^{-6} г; 1 мг/м³ = 1 гамма/л.

Объемная концентрация выражается: числом миллилитров вещества в 1 л ($10^{-4}\%$); числом миллилитров вещества в 1 м³ ($10^{-4}\%$). При измерении объемной микроконцентрации используются также единицы: ppm (миллионная доля) и ppv (миллиардная доля); ppm соответствует такой объемной концентрации, когда в миллионе молекул вещества находится одна молекула определенного компонента 1 ppm = $10^{-6}\%$ = $10^{-4}\%$ объемных; ppv соответствует такой объемной концентрации, когда в миллиарде молекул вещества находится одна молекула определяемого компонента 1 ppv = $10^{-9}\%$ = $10^{-7}\%$ объемных.

§ 3. Термомангнитные газоанализаторы

Термомангнитные газоанализаторы получили широкое применение для определения содержания кислорода в газах и газовых смесях.

Магнитные свойства кислорода, т. е. его магнитная, восприимчивость, резко отличается от всех остальных газов (табл. 12). Поэтому принцип действия таких газоанализаторов основан на использовании явления, обусловленного ярко выраженными магнитными свойствами кислорода по сравнению со слабыми магнитными свойствами остальных компонентов газовой смеси. Датчик прибора содержит нагретый током проводник, находящийся в неоднородном магнитном поле постоянного магнита, обтекаемый контролируемой газовой смесью. Если в газовой смеси присутст-

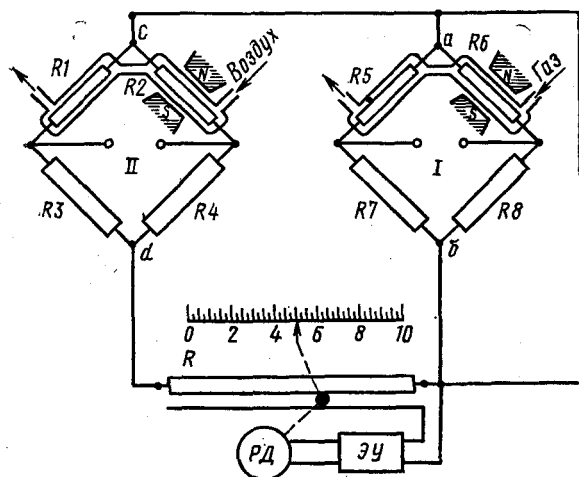


Рис. 133. Измерительная схема газоанализатора типа МН:

I — рабочий мост, *II* — сравнительный мост; РД — реверсивный двигатель, ЭУ — электронный усилитель, R — реохорд; R1, R2 — чувствительные плечевые элементы моста *I*; R5, R6 — чувствительные плечевые элементы моста *II*; R3, R4, R7, R8 — постоянные плечи мостов

вует кислород, то его молекулы, будучи парамагнитными, ускоряют свое движение, взаимодействуя с полем магнита. Однако за время соприкосновения с нагретым проводником молекулы кислорода теряют свои магнитные свойства и свободно выталкиваются из магнитного поля датчика новым «холодным» потоком газа. Новая порция кислородсодержащего газа снова нагревается, теряет магнитные свойства и поступает на выход газовой схемы датчика. Таким образом, возникают конвекционные потоки — термомангнитная конвекция.

Чем больше содержание кислорода в газовой смеси, тем больше термомангнитная конвекция. За счет отдачи тепла от чувствительного элемента меняется его температура и электрическое сопротивление. Следовательно, по величине сопротивления чувствительного элемента можно определять концентрацию кислорода в измеряемой газовой смеси.

Наиболее распространенным типом термомангнитного газоана-

лизатора для непрерывного определения содержания кислорода в газовых смесях является автоматический самопишущий и показывающий газоанализатор типа МН (рис. 133). Прибор имеет десять модификаций с пределами измерений от 0 до 100 % кислорода. Основная погрешность измерений не превышает $\pm (0,5-2,5) \%$. Температура анализируемой газовой смеси должна находиться в пределах $5-50^\circ\text{C}$, расход газа через газовую схему прибора составляет 0,7 л/мин.

В состав газоанализатора входят: приемник, стабилизатор напряжения и вторичный электронный самопишущий прибор.

Приемник преобразует изменение концентрации кислорода в анализируемой газовой смеси в напряжение переменного тока. Основными элементами приемника являются два моста — рабочий *I* и сравнительный *II*.

Рабочий мост используется для определения содержаний кислорода в газах, сравнительный — для проверки чувствительности прибора по воздуху (в воздухе содержание кислорода составляет $\sim 21 \%$).

В рабочем мосте *I* чувствительные элементы *R5* и *R6* находятся в специальных проточных ячейках, через которые с постоянной скоростью проходит анализируемая газовая смесь. Сопротивления *R7* и *R8*, являясь манганиновыми

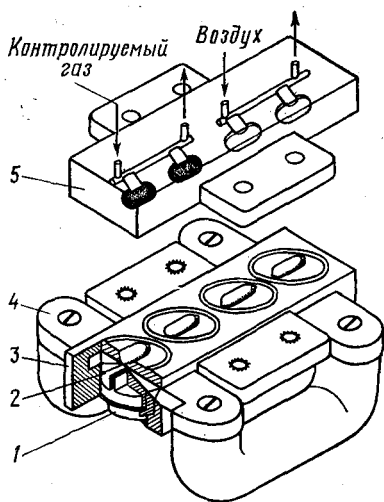


Рис. 134. Камера-датчик газоанализатора типа МН

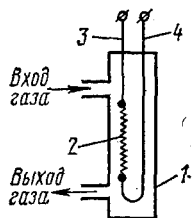


Рис. 135. Чувствительный элемент:
1 — ампула, 2 — нить, 3, 4 — стойки

постоянными сопротивлениями, образуют два других плеча рабочего моста.

Конструктивно сравнительный мост *II* выполнен подобно рабочему мосту *I* и имеет два чувствительных элемента *R1* и *R2* и два постоянных сопротивления *R3* и *R4*. Сопротивления чувствительных элементов *R1* и *R2* находятся в ячейках сравнительной камеры, которая может сообщаться с воздухом.

Приемная камера-датчик с магнитной системой показана на рис. 134. В корпусе камеры имеются четыре ячейки для установки чувствительных элементов 2. В двух ячейках находятся чувствительные элементы рабочего моста, которые обтекаются анализируемой газовой смесью; в двух других — установлены чувствитель-

ные элементы сравнительного моста, которые обтекаются воздухом. Чувствительные элементы закрепляют на специальных держателях *I* с токосъемниками.

Чувствительные элементы расположены в магнитном поле в нижней части камеры между полюсами магнита и представляют собой стеклянный проточный капилляр, внутри которого вплавлена платиновая проволока, нагреваемая до температуры 200—250 °С источником тока (рис. 135).

Таким образом платиновая спираль *R6* (см. рис. 133) является и нагревательным элементом, способствующим возникновению термомагнитной конвекции, и одновременно чувствительным элементом, включенным в измерительную схему датчика.

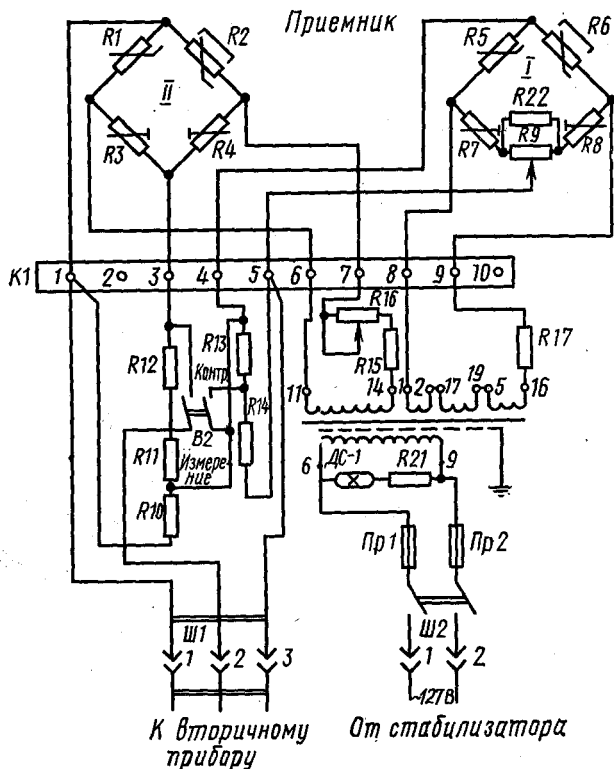


Рис. 136. Электрическая схема газоанализатора МН-5130

Корпус 4 камеры-датчика — латунный, наконечники 3 изготовлены из сплава марки «Армко». Сверху камера-датчик закрывается латунной крышкой 5, уплотняется резиновыми прокладками и закрепляется с помощью четырех винтов (см. рис. 134).

Плечевые элементы рабочего и сравнительного мостов *R6* и *R2* находятся в неоднородном магнитном поле постоянного магнита.

Если кислород в анализируемой смеси отсутствует, то рабочий мост *I* сбалансирован ($R5=R6=R7=R8$), поэтому ток в измери-

тельной диагонали ab (см. рис. 133) отсутствует и прибор имеет нулевые показания. При появлении кислорода в газовой смеси изменяется сопротивление плечевых элементов $R5$ и $R6$, нарушается условие равновесия рабочего моста и в измерительной диагонали появляется напряжение, пропорциональное концентрации кислорода. Это напряжение усиливается электронным усилителем ЭУ, реверсивный двигатель РД приходит во вращение и вращается до момента установления равновесия в измерительной схеме. Стрелка прибора укажет при этом концентрацию кислорода.

Электрическая схема газоанализатора МН-5130 приведена на рис. 136. Рабочий I и сравнительный II мосты питаются от трансформатора напряжением 24 В; рабочий — через клеммы 8—9, сравнительный — через клеммы 6—7. Измерительные диагонали мостов в зависимости от положения переключателя В2 — «контроль — измерение» подключаются на вход электронного измерительного прибора, шкала которого градуируется в процентах объемной концентрации кислорода.

Наиболее распространенными модификациями газоанализаторов типа МН являются: газоанализатор МН-5106 с пределом измерений 0—10 % кислорода применяется при измерении кислорода в отходящих топочных газах; газоанализаторы МН-5121, МН-5122 с пределом измерения 19—25 % кислорода применяют для определения кислорода в воздухе помещений; газоанализатор МН-5130 в зависимости от модификаций используется для измерения кислорода в пределах 0—100 % и применяется для определения кислорода в многокомпонентных газовых смесях.

В качестве вторичного прибора в газоанализаторах типа МН используют электронные самопишущие мосты типа КСМ.

Для измерения следов кислорода в инертных газах используют газоанализаторы типов ГЛ-5108, ГЛ-5115, «Циркон», позволяющие измерять кислород в пределах микроконцентраций от 10^{-2} до 10^{-8} объемного процента (% объем).

§ 4. Термокондуктометрические газоанализаторы

Принцип действия данных приборов основан на измерении теплопроводности определяемого газа в газовой смеси.

Теплопроводность — это физическая величина, характеризующая количество теплоты, которое проходит за 1 с через площадь в 1 см^2 при падении температуры в 1°C на расстоянии 1 см.

Термокондуктометрические газоанализаторы широко используют для определения содержания водорода и двуокиси углерода (углекислого газа) в других газах.

В табл. 13 приведены теплопроводности некоторых газов. Определение содержания какого-либо газа в газовой смеси по теплопроводности производится косвенно, по изменению электрического сопротивления чувствительного элемента, через который проходит измеряемая газовая смесь. Чувствительным элементом газоанализатора является платиновая нить, нагреваемая электрическим током. При изменении теплопроводности газовой смеси ме-

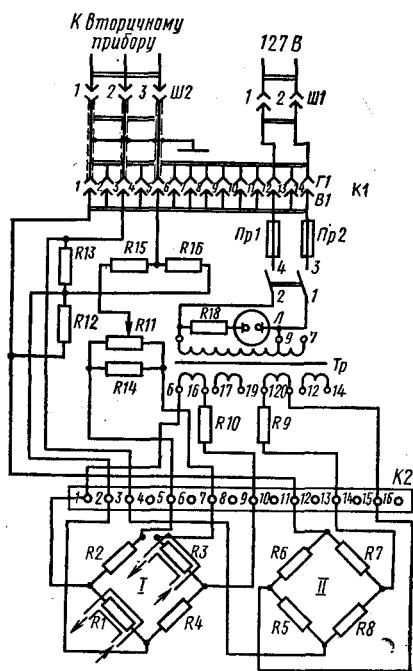
няется теплоотдача от платиновой нити, вследствие чего изменяется ее температура и электрическое сопротивление. Поэтому величина электрического сопротивления чувствительного элемента является мерой концентрации определяемого газа в газовой смеси. Наиболее распространенными приборами термокондуктометрического типа являются промышленные автоматические газоанализаторы типа ТП, позволяющие непрерывно определять объемную концентрацию какого-либо компонента: водорода в газовых смесях, гелия в воздухе, кислорода в гелии, кислорода в водороде, метана в воздухе, азота в гелии или углекислого газа в газовых смесях.

Газоанализаторы типа ТП работают в диапазоне температур от 5 до 50°C. Расход газа через измерительную газовую схему прибора составляет 12 см³/с. В зависимости от предела измерения погрешность газоанализаторов составляет 4—10%.

Электрическая схема газоанализатора ТП-1120 показана на рис. 137. Измерительная схема газоанализатора имеет два моста: рабочий I и сравнительный II.

сопротивления R_2 и R_4 запаяны в стеклянные закрытые ампулы с газовой смесью, соответствующей началу шкалы, два других — R_1 и R_3 находятся в открытых стеклянных ампулах, через которые проходит измеряемая газовая смесь. Сравнительный мост II образован также четырьмя элементами: два сопротивления R_5 и R_7 запаяны в закрытые стеклянные ампулы, заполненные газовой смесью, соответствующей началу шкалы, и два сопротивления R_6 и R_8 запаяны в закрытые стеклянные ампулы с газовой смесью, соответствующей концу шкалы прибора.

Нагрузкой силового трансформатора T_p служат рабочий и



сравнительный мосты измерительной схемы, которые питаются от раздельных вторичных обмоток трансформатора (клеммы колодки К-2; 1—9 и 13—15). Сопротивления R_9 и R_{10} предназначены для регулирования тока питания мостов только при заводской градуировке газоанализатора. Сопротивление R_{11} используется для подстройки нуля прибора в процессе эксплуатации газоанализатора на объектах.

Если теплопроводность измеряемой газовой смеси, проходящей через элементы R_1 и R_3 , равна теплопроводности газа, находящегося в закрытых стеклянных ампулах с сопротивлениями R_2 и R_4 , то сопротивления плечей моста равны друг другу ($R_1=R_2=R_3=R_4$) и мост при этом находится в равновесии, а в измерительной цепи 1—2—3 (разъем Ш2) ток отсутствует.

Если изменяется состав газовой смеси, проходящей через элементы рабочего моста, то происходит изменение температуры чувствительных элементов R_1 и R_3 , изменится их электрическое сопротивление по отношению к сопротивлениям R_2 и R_4 . Так как равенство сопротивлений плечей моста $R_1—R_4$ нарушается, то нарушается и равновесие моста, а в измерительной цепи 1—2—3 (разъем Ш2) протекает ток, пропорциональный концентрации определяемого компонента.

Газоанализатор ТП-1120 предназначен для измерения водорода в газовых смесях, ТП-5005 — воздуха (кислорода) в водороде, ТП-2220 — углекислого газа в газовых смесях.

§ 5. Приборы для определения загазованности производственных помещений

В целом ряде технологических производственных процессов применяют как взрывоопасные газы, так и токсичные вещества, оказывающие вредное воздействие на организм человека.

В СССР разработаны нормы предельной концентрации вредных газов и паров, допустимых в производственных помещениях (табл. 14) и нормы границ взрываемости смесей газов и паров с воздухом (табл. 15). Существуют два предела взрывоопасной концентрации горючих газов с воздухом: нижний и верхний.

Нижний предел взрывоопасной концентрации (НВП) — это минимальная концентрация взрывоопасного газа в воздухе (или другом газе), при которой от внешнего воздействия уже может произойти взрыв.

Верхний предел взрывоопасной концентрации (ВВП) — это максимальная концентрация взрывоопасного газа в воздухе (или другом газе), при которой от внешнего воздействия еще может произойти взрыв (на пределе горения).

Для охраны здоровья трудящихся и техники безопасности на производстве разработана целая серия автоматических приборов, позволяющих непрерывно контролировать загазованность производственных помещений при применении взрывоопасных и токсичных газов и их паров. Указанные сигнализаторы имеют устрой-

ства, позволяющие включать звуковую и световую сигнализацию при нижних пределах взрывоопасных концентраций или появлении токсичных газов и паров. В некоторых производствах с помощью газоанализаторов автоматически отключается технологическое оборудование или включается приточная и вытяжная вентиляция.

Наиболее распространенными типами газоанализаторов являются газоанализаторы, основанные на тепловом эффекте реакции, т. е. реакции, сопровождающейся изменением температуры. Выделившееся тепло повышает температуру чувствительных элементов. При определенных условиях повышение температуры является мерой концентрации определяемого газа. Датчики газоанализаторов имеют четыре чувствительных элемента, которые собирают в мостовую схему, подобно газоанализаторам типов ТП и МН. Два элемента находятся в открытых проточных стеклянных ампулах, через которые проходит контролируемая газовая смесь, а два других — запаяны в ампулы с газовой смесью, соответствующей началу шкалы прибора.

Анализируемая смесь проходит через чувствительные элементы (см. рис. 135) с проточными ампулами 1. Платиновая нить 2 закреплена на стойках 3 и 4. В зависимости от определяемого компонента платиновая нить должна иметь определенный температурный режим в пределах 300—700°C, поддерживаемый током электрической схемы.

За счет катализатора — платиновой нити, нагретой до требуемой температуры, происходит тепловая реакция «сгорания» контролируемой газовой смеси. Выделившаяся при этом теплота сгорания повышает температуру нагретой током платиновой нити, пропорционально концентрации определяемого компонента. Изменение температуры контролируется по изменению сопротивления рабочих чувствительных элементов мостовой схемы. В качестве вторичных приборов применяют автоматические и сигнализирующие мосты типов МС, КМС и др., шкала которых отградуирована в объемные проценты измеряемого взрывоопасного компонента.

Газоанализатор типа ТП-1116 (рис. 138, а) используется для непрерывного измерения водорода в воздухе производственных помещений в пределах от 0 до 6 объемных процентов в четырех точках отбора (помещениях). Основная погрешность измерения — не более $\pm 2,5\%$.

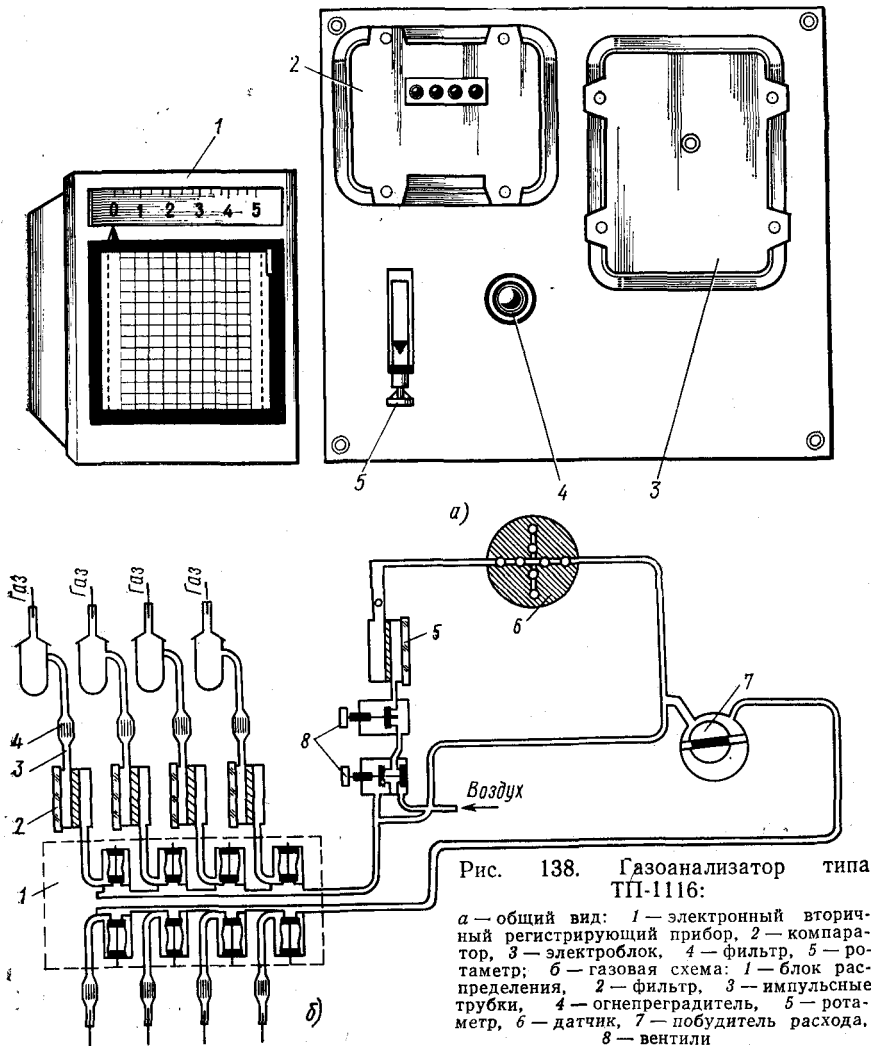
Принцип действия прибора основан на использовании высокой теплопроводности водорода по отношению к другим компонентам анализируемой газовой смеси.

Датчик газоанализатора подобен датчику газоанализатора типа МН и ТП и имеет компенсационно-мостовую измерительную схему, состоящую из двух мостов — рабочего и сравнительного. Чувствительными элементами датчика являются остеклованные платиновые нити, нагреваемые током электрической схемы.

Если в воздухе помещения появляется водород, то изменяется теплопроводность газовой смеси водород — воздух, поэтому изменяется температура и электрическое сопротивление чувствитель-

ных элементов. Вследствие этого возникает разбаланс мостов, в измерительных диагоналях появляются напряжения, отношение которых измеряет электронный показывающий прибор, шкала которого выражена в объемных процентах водорода (от 0 до 6 %).

На рис. 138,б представлена газовая схема газоанализатора ТП-1116. Контролируемый воздух из четырех помещений просасывается посредством побудителя расхода 7 по импульсным трубкам 3 через блок распределения 1. Ротаметр 5 служит для измерения расхода. Датчик 6 содержит блок чувствительных элементов рабочего и сравнительного мостов. Ротаметр позволяет устанавливать и контролировать постоянный расход анализируемой среды через газовую схему прибора (0,7 л/мин). Блок распределения



автоматически через каждые две минуты поочередно переключает контролируемые точки (помещения). Полный цикл определения загазованности четырех помещений составляет восемь минут.

Для предотвращения взрыва и распространения пламени в импульсных газовых линиях прибора устанавливаются огнепреградители 4.

Прибор имеет четырехламповое табло световой сигнализации и измерительный прибор, позволяющие дублировать показания и

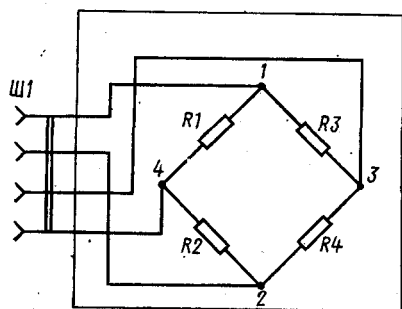


Рис. 139. Электрическая схема датчика сигнализатора загазованности СВК-3М

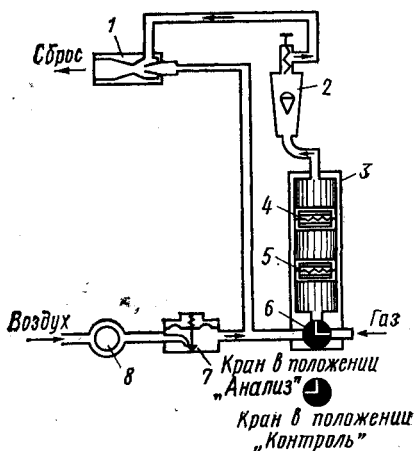


Рис. 140. Схема датчика сигнализатора СВК-3М:

1 — эжектор, 2 — ротаметр, 3 — датчик, 4 — сравнительный элемент, 5 — рабочий элемент, 6 — двухходовой кран «контроль — анализ», 7 — редуктор, 8 — фильтр

световую индикацию обхода точек отбора (помещений) на расстояние до 100 м.

Сигнализатор загазованности помещений типа СВК-3М предназначен для определения и сигнализации загазованности производственных помещений взрывоопасными и горючими газами и парами.

Сигнализатор представляет собой автоматический показывающий и сигнализирующий непрерывно действующий прибор, принцип действия которого основан на определении теплового эффекта сгорания горючих газов и паров на поверхности чувствительных элементов, выполненных в виде цилиндров в виде окиси алюминия, внутри которых установлена платиновая нить.

Электрическая схема (рис. 139) датчика сигнализатора загазованности имеет измерительный мост, состоящий из четырех сопротивлений. Сопротивления $R1$ и $R2$ являются чувствительными элементами.

Через измерительный элемент $R1$ пропускается контролируемая газовая среда при строго определенном расходе, равном 42 л/ч. Сопротивление $R2$ является сравнительным элементом, который

герметично закрыт и расход контролируемой среды через элемент отсутствует. Сопротивления $R3$ и $R4$ представляют собой постоянные резисторы, выполненные из манганинового провода ($R3 = R4 = 65 \pm 0,1 \text{ Ом}$).

При появлении горючих газов в воздухе контролируемого помещения на рабочем чувствительном элементе $R1$ происходит окисление горючего газа, при этом повышается температура элемента и электрическое сопротивление платиновой спирали увеличивается. Нарушается условие равновесия измерительного моста $R1 - R4$ и в измерительной диагонали моста (цепь 3—4 разъема $Ш1$) возникает разность потенциалов, пропорциональная объемной концентрации горючего газа.

Для усиления незначительного выходного сигнала с измерительной мостовой схемы применен двухкаскадный усилитель переменного тока на двух транзисторах, нагрузкой которого является измерительный стрелочный прибор, показывающий загазованность производственного помещения.

Схема датчика сигнализатора СВК-3М показана на рис. 140. Эжектор 1, запитанный давлением сжатого воздуха через фильтр 8 и редуктор 7, под действием разрежения просасывает через датчик 3 анализируемый газ, расход которого контролируется ротаметром 2. Двухходовой кран 6 переключается в два положения: «анализ», при котором контролируется загазованность контролируемого помещения, и «контроль», при котором производится проверка нуля прибора по воздуху.

Для предотвращения выхода из строя рабочего чувствительного элемента 5 при большой концентрации горючего газа электрической схемой предусмотрено автоматическое отключение датчика с одновременным включением сигнала «взрывоопасная концентрация».

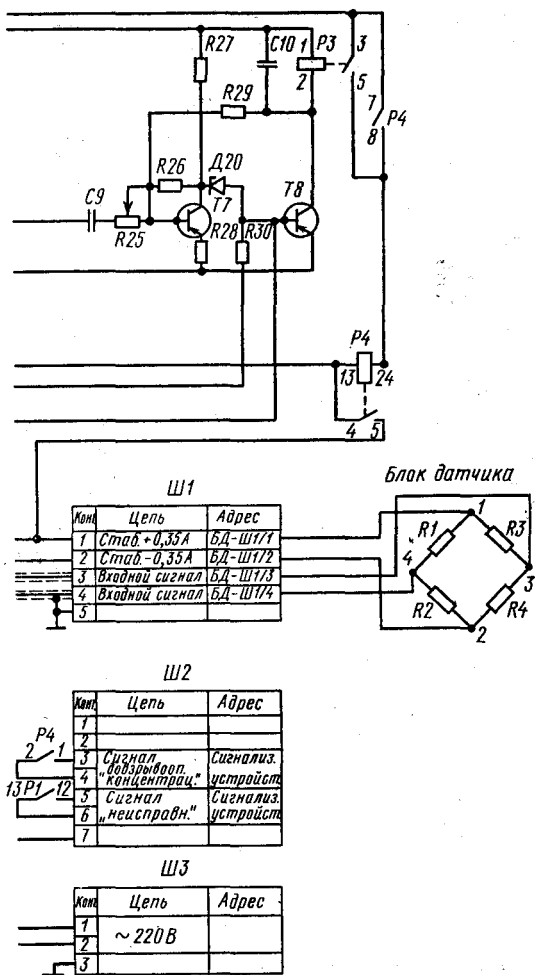
При обрыве цепи питания датчика или перегорании чувствительных элементов реле контроля своими контактами выдает сигнал «неисправность».

Электрическая схема газоанализатора СВК-3М дана на рис. 141.

Стабилизатор тока для питания блока датчика $R1 - R4$ питается от вторичной обмотки 14—16 силового трансформатора $Тр1$. Диоды $D16 - D17$ и конденсатор $C7$ представляют собой выпрямитель со стабилизатором тока на транзисторах $T5, T6$ и диоде $D18$.

При загазованности помещения нарушается условие равновесия моста $R1 - R4$ датчика и напряжение постоянного тока, пропорциональное величине концентрации горючего газа (пара), поступает на модулятор — триоды $T1, T2$, где сигнал преобразуется в переменное напряжение.

Двухкаскадный усилитель на транзисторах $T3, T4$ усиливает этот сигнал, который поступает на диод $D8$, выпрямляется, а затем поступает на стрелочный индикатор $И$. Этот же сигнал с двухкаскадного усилителя $T3, T4$ поступает на релейный усилитель,



§ 6. Деполяризационные и термохимические газоанализаторы

Деполяризационный газоанализатор ГДРП-3 используют для определения содержания кислорода в горючих или инертных газах. Прибор выпускается на один из пяти пределов: 0—0,1; 0—0,2; 0—0,5; 0—1; 0—2 об. % кислорода.

Принцип действия прибора основан на деполяризующем влиянии кислорода на погруженный в электролит поляризованный электрод.

Датчик 1 (рис. 142) прибора имеет электрохимическую ячей-

ку 2 с раствором сернокислого натрия (Na_2SO_4), через который пропускается анализируемый газ со строго определенным расходом, равным 30 л/ч. В ячейке находятся два золотых электрода — анод и катод, поляризованные приложенным напряжением. При отсутствии кислорода в контролируемом газе ток в цепи прибора практически отсутствует. При появлении кислорода на золотом катоде происходит его частичная деполяризация, в цепи электродов возникает диффузионный ток, величина которого

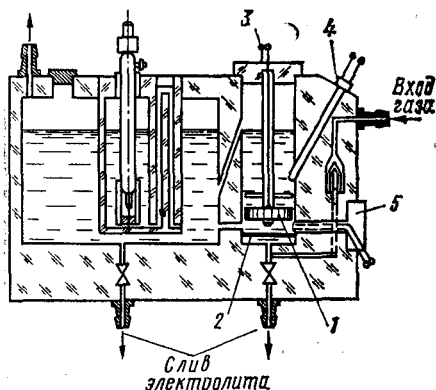


Рис. 142. Датчик газоанализатора ГДРП-3:

1 — датчик, 2 — электрохимическая ячейка, 3 — выводы датчика, 4 — термометр, 5 — нагреватель

происходит его частичная деполяризация, в цепи электродов возникает диффузионный ток, величина которого

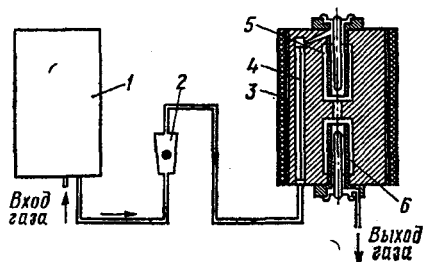


Рис. 143. Схема газоанализатора ТХГ-5М:

1 — регулятор расхода, 2 — ротаметр, 3 — корпус датчика, 4 — теплообменник, 5 — сравнительная камера, 6 — рабочая камера

пропорциональна количеству диффундирующего (проникающего) к катоду кислорода. Таким образом, в цепи электродов при наличии кислорода в газе протекает электрический ток, величина которого пропорциональна содержанию кислорода.

Так как изменение температуры электролита влияет на точность показаний прибора, схемой предусмотрена автоматическая стабилизация температурного режима электролита в пределах $40 \pm 1^\circ\text{C}$ с помощью электроконтактного термометра 4 и нагревателя 5.

Золотые электроды питаются стабилизированным напряжением $1,95 \pm 0,005$ В.

В качестве вторичного прибора применяется электронный потенциометр типа КСП, шкала которого выражена в объемных процентах кислорода.

Анализируемый газ должен иметь на входе в газовую схему прибора следующие параметры: давление 4—10 кПа (400—1000 мм вод. ст.); температуру 5—40°C.

Основная погрешность прибора составляет $\pm 5\%$ от верхнего предела измерения.

Термохимический газоанализатор ТХГ-5М применяется для определения кислорода в водороде, в генераторном газе, а также водорода в кислороде.

Принцип действия газоанализатора основан на измерении теплового эффекта реакции кислорода с водородом, протекающей в присутствии катализатора — палладия при температуре $200 \pm 5^\circ\text{C}$.

Схема газоанализатора ТХГ-5М показана на рис. 143. Контролируемый газ после предварительной очистки и осушки поступает на регулятор расхода 1, обеспечивающий постоянный расход газа через газовую схему прибора, равный 60 л/ч. Расход газа контролируется ротаметром 2. Газ, проходя через теплообменник 4, поступает в камеру 5 сравнительного элемента, а затем в рабочую камеру 6 элемента и выходит через штуцер «Выход газа».

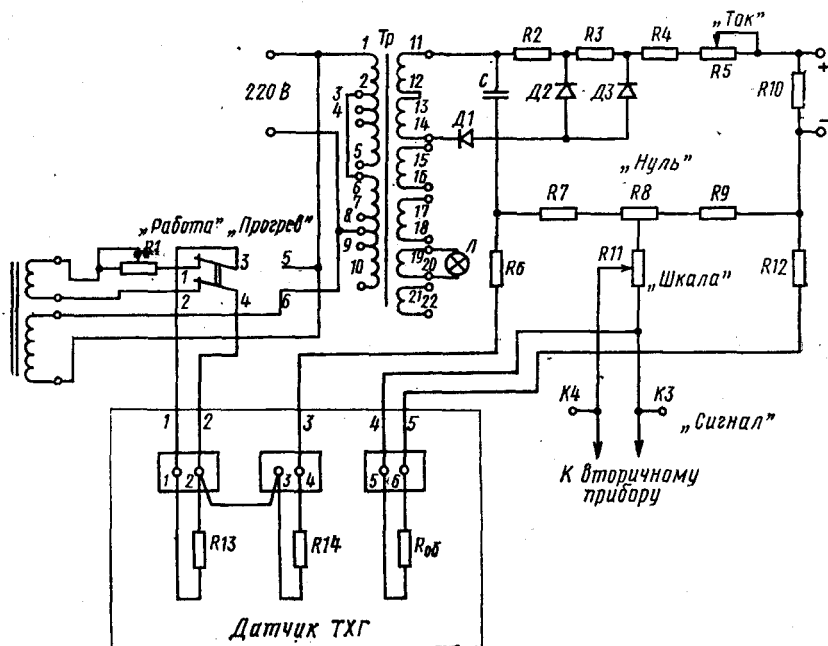


Рис. 144. Электрическая схема газоанализатора ТХГ-5М

Рабочий элемент заполнен катализатором, а сравнительный элемент — неактивной массой.

Электрическая схема газоанализатора ТХГ-5М представлена на рис. 144. В датчике установлены сопротивления рабочего элемента R_{13} и сравнительного элемента R_{14} , являющиеся двумя плечами моста. Постоянные проволочные сопротивления R_7 и R_8 образуют два других плеча измерительного моста. Спираль обогрева корпуса датчика R_{06} с помощью тумблера B_2 может подключаться на ускоренный режим обогрева при напряжении 220 В в положении «прогрев» и на стабилизированное напряжение 127 В в положении «работа». Потенциометром R_5 производится настройка тока питания мостовой схемы в пределах $20 \pm 0,1$ мА. Резистор R_8 обеспечивает установку нуля шкалы, а R_{11} — конца шкалы вторичного прибора.

Вторичным прибором газоанализатора является электронный автоматический потенциометр КСП-3, шкала которого выражена в объемных процентах измеряемого газа.

При отсутствии кислорода в водороде или водорода в кислороде (в зависимости от модификации газоанализатора) измерительный мост, образованный сопротивлениями R_{13} , R_{14} , R_7 , R_8 , уравновешен (сопротивления по величине равны друг другу), поэтому ток в измерительной диагонали (клеммы K_3 — K_4) практически отсутствует.

При появлении в газе измеряемого компонента на рабочем элементе R_{13} в присутствии катализатора выделяется дополнительное тепло и изменяется электрическое сопротивление элемента. При этом мост разбалансируется и в измерительной диагонали появляется ток, величина которого пропорциональна содержанию измеряемого газового компонента.

Основная погрешность прибора составляет $\pm 5\%$ от диапазона измерения. Прибор выпускается на один из трех пределов измерения: 0—0,5; 0—1; 0—2 объемных процентов.

§ 7. Оптико-акустические приборы

Оптико-акустические приборы нашли широкое применение для определения окиси углерода (угарного газа), двуокиси углерода (углекислого газа) и метана в газовых смесях. Приборы используют в химической, металлургической, машиностроительной, электронной, газовой и нефтеперерабатывающей промышленности, а также научных исследованиях в биофизике, геохимии, медицине и биологии.

Принцип действия прибора основан на поглощении анализируемым газом потока инфракрасного излучения, создаваемого нихромовыми излучателями.

Закон Ламберта — Бера выражает зависимость поглощения излучения определенной длины волны от концентрации поглощаемого вещества и толщины слоя, в котором происходит поглощение: $E = KCd$, где E — экстинкция (поглощение радиации), K — коэффициент поглощения, C — концентрация поглощающего вещества, d — толщина слоя.

Степень поглощения радиации пропорциональна концентрации измеряемого компонента в газовой смеси.

В оптико-акустическом газоанализаторе ОА-5501 (рис. 145) в качестве измерительной схемы используется дифференциальная (сравнительная) оптическая схема с непосредственным отсчетом. Два нихромовых излучателя 1, нагретых до температуры 600—800 °С, являются источниками инфракрасного излучения. Потoki радиации, отражаясь от металлических полированных параболических отражателей 11, поступают в две оптические системы. Обтюратор 2 поочередно (с частотой 5 Гц) перекрывает два потока радиации, вызывая колебания температуры и давления газов в камерах.

В правой оптической системе установлена рабочая камера 3, через которую проходит анализируемая газовая смесь с расходом, равным 0,3—0,7 л/мин. В левой оптической системе установлена сравнительная герметически закрытая камера 10, заполненная чистым азотом с полным отсутствием измеряемого компонента.

Фильтровые камеры 4, 9 устанавливаются в левой и правой оптических системах для уменьшения влияния сопутствующих неизмеряемых газовых компонентов.

Чувствительным элементом прибора является мерная камера 5, рабочая полость заполнена смесью аргона с определяемым компонентом. Например, если газоанализатор используется на определение двуокиси углерода, то мерная камера заполняется смесью аргона с двуокисью углерода. В нижней части мерной камеры установлен конденсаторный микрофон 8, мембрана которого является одной из обкладок конденсатора.

Если определяемый компонент в рабочей камере отсутствует, то потоки радиации и колебания их давлений в левом и правом лучеприемниках равны друг другу, поэтому конденсаторный микрофон находится в покое. При появлении измеряемого компонента в измерительной камере поток радиации в правом лучеприемнике поглощением части радиации уменьшается. В результате разности радиации левого и правого потоков возникает переменное давление в месте расположения мембраны микрофона, мембрана начинает колебаться и изменять емкость конденсаторного микрофона. Амплитуда колебаний мембраны зависит от концентрации определяемого компонента. Колебания мембраны преобразуются микрофоном в электрический сигнал переменного тока, который после ряда преобразований регистрируется вторичным прибором — автоматическим потенциометром типа КСП, шкала которого выражена в объемных процентах измеряемого компонента.

Электрическая схема газоанализатора ОА-5501 показана на рис. 146. Нагреватели излучателей И1 и И2 получают напряжение через трансформаторы Тр1 и Тр2; синхронный двигатель СД приводит в движение обтюратор с частотой 5 Гц, который прерывает поток инфракрасной радиации. Питание электрической схемы приемника осуществляется от электроблока. Конденсаторный микрофон КМ имеет микрофонный каскад, собранный по схеме ка-

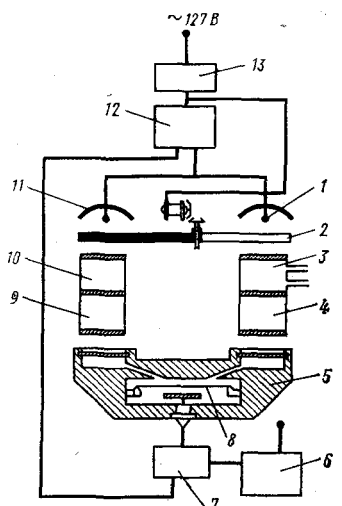


Рис. 145. Оптико-акустический газоанализатор ОА-5501:

- 1 — излучатель, 2 — обтюратор, 3 — рабочая камера, 4, 9 — фильтровые камеры, 5 — мерная камера, 6 — вторичный прибор, 7 — усилитель, 8 — конденсаторный микрофон, 10 — сравнительная камера, 11 — отражатель, 12 — блок питания, 13 — стабилизатор

При колебаниях мембраны на выходе катодного повторителя появляется электрический сигнал, пропорциональный концентрации определяемого компонента.

На микрофон через сопротивление $R3$ подается поляризующее напряжение 90 В. Сопротивление $R1$ является нагрузочным сопротивлением микрофона. На аноде катодного повторителя поддерживается напряжение постоянного тока 150 В.

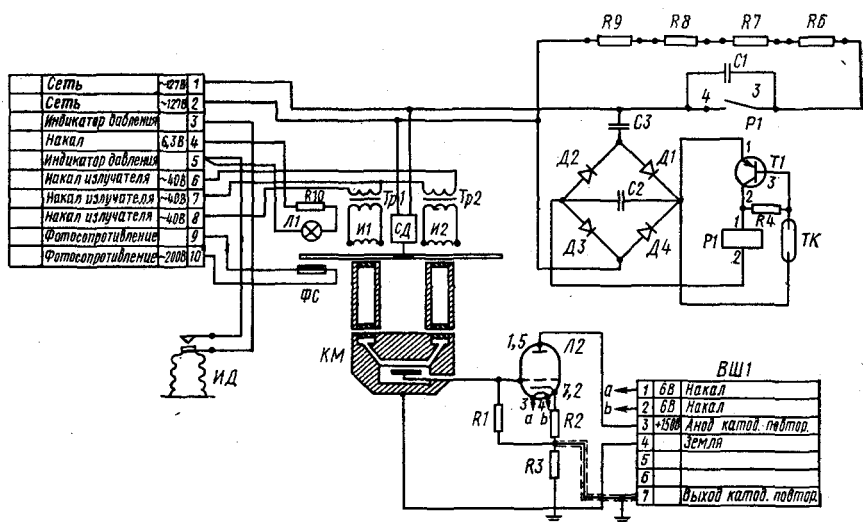


Рис. 146. Электрическая схема газоанализатора ОА-5501

Катодный повторитель представляет собой каскад усиления с нагрузкой $R1$ в цепи катода, поэтому его можно рассматривать как усилитель без обратной связи, который усиливает напряжение, приложенное между сеткой и катодом.

§ 8. Измерители влажности и запыленности

Измерители влажности. Влажность является одной из существенных характеристик материалов и сырья, используемых в различных отраслях народного хозяйства. От влажности зависят механические, физические, химические и технологические свойства неметаллических материалов, поэтому в целом ряде производств используются процессы увлажнения и осушки, предназначенные для поддержания требуемой влажности материалов.

В электронной, газовой, металлургической и машиностроительной промышленности существенное значение имеет контроль и регулирование влажности чистых газов — водорода, азота, кислорода, аргона и др., которые существенно влияют на качество выпускаемой продукции.

Существуют две безразмерные характеристики влажности: влажность и влагосодержание.

Влажность (массовая) W — это отношение массы влаги M , содержащейся в материале, к массе M_1 влажного материала: $W = M/M_1$.

Влагосодержание (массовое) U — отношение массы влаги M , содержащейся в материале, к массе M_0 абсолютно сухого материала: $U = M/M_0$.

В целом ряде производств эти величины выражают через массу или в процентах

$$U = \frac{P - P_0}{P_0} \cdot 100\%; \quad W = \frac{P - P_0}{P} \cdot 100\%,$$

где P — масса влажного тела, P_0 — масса абсолютно сухого тела.

При измерении сверх малых значений влаги (микроконцентраций) в газах и жидкостях в качестве единицы измерения объема влагосодержания принимают международную единицу измерения ppm — единицу влагосодержания, когда в миллионе молекул газа или жидкости находится одна молекула воды.

Электронный психрометр типа ПЭ используется для автоматического непрерывного измерения, регулирования и записи относительной влажности воздуха и газов. Принцип действия прибора основан на определении разности температур «сухого» и «мокрого» термометров сопротивлений, зависящей от влажности, барометрического давления и температуры среды.

Проходящий через датчик анализируемый воздух или газ обтекает термометры сопротивления, причем «мокрый» термометр смачивается с помощью «чулка» дистиллированной водой.

Сухой и мокрый термометры с двумя постоянными проволочными резисторами образуют мост. Диагональ питания моста питается напряжением постоянного тока. При равновесии моста ток в измерительной диагонали отсутствует.

С изменением влажности газа «мокрый» термометр сопротивления изменяет свое электрическое сопротивление — мост разбалансирован и в измерительной диагонали возникает разность потенциалов, пропорциональная разности температур, «сухого» и «мокрого» термометров сопротивлений, которая измеряется вторичным электронным прибором типа КСМ. Шкала прибора отградуирована в процентах относительной влажности.

Кулонометрический измеритель типа «Байкал» применяется для автоматического контроля и регулирования микроконцентрации влаги в газах. Принцип действия прибора основан на непрерывном поглощении влаги из измеряемого газа пленкой гигроскопического вещества (пятиоксида фосфора) и электролитическом разложении поглощенной влаги на водород и кислород.

Основным элементом прибора является кулонометрический измерительный элемент (рис. 147), представляющий собой стеклянный толстостенный цилиндр 1, во внутреннем канале которого находятся три платиновых электрода 2, выполненные в виде несоприкасающихся спиралей. Между электродами нанесена пленка гигроскопического вещества 3 — пятиоксида фосфора (P_2O_5). Измерительный элемент имеет рабочий и контрольный

элементы. Через внутренний канал элемента проходит анализируемый газ со строго постоянным расходом, равным 50 см³/мин. При таком расходе влага из газа полностью извлекается пятиокисью фосфора и под действием приложенного к электродам напряжения постоянного тока одновременно с поглощением влаги происходит ее электролиз, поэтому ток электролиза является мерой содержания влаги в анализируемом газе.

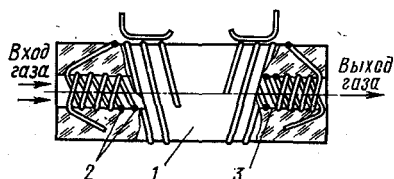


Рис. 147. Кулонометрический измерительный элемент

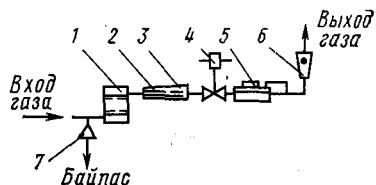


Рис. 148. Схема прибора «Байкал»

Схема прибора «Байкал» представлена на рис. 148. Для уменьшения инерционности прибора большая часть измеряемого газа сбрасывается через специальное отверстие — дроссель 7.

Поток газа проходит фильтр тонкой очистки 1, рабочий 2 и контрольный 3 чувствительные элементы. Для поддержания строго дозированного расхода газа через газовую измерительную схему прибора установлен регулятор расхода 5. Ротаметр 6 является индикатором расхода.

Электрической схемой прибора предусмотрен электромагнитный клапан 4, который служит для защиты чувствительных элементов от переувлажнения и от выноса пятиокиси фосфора при попадании в прибор газов с влажностью, превышающей максимальный предел измерения прибора, а также при отключении питающего напряжения.

Структурная схема измерителя влажности «Байкал» представлена на рис. 149,б. Чувствительный элемент Д питается стабилизированным напряжением постоянного тока. Измерение тока

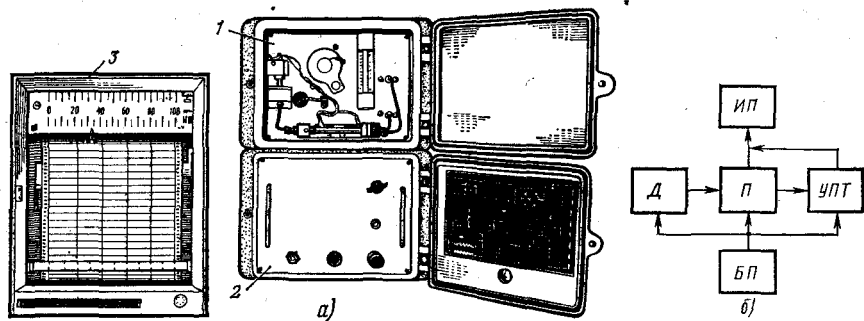


Рис. 149. Измеритель влажности «Байкал»:

а — общий вид, б — структурная схема: 1 — датчик, 2 — блок питания, 3 — вторичный регистрирующий прибор

электролиза воды в данном элементе, т. е. определение влажности измеряемого газа в пределах 10—1000 *ppm*, обеспечивается непосредственно автоматическим потенциометром ИП типа КСП, шкала которого отградуирована в единицах микроконцентрации влаги (*ppm*).

Усилитель постоянного тока УПТ усиливает сигнал чувствительного элемента при измерении влажности газов на пределах 0—5, 0—2 *ppm*, т. е. когда ток электролиза в чувствительном элементе настолько мал, что без усиления его невозможно зарегистрировать прибором ИП.

Переключатель диапазонов П служит для переключения пределов измерения прибора в диапазонах 0—1000 *ppm*.

Блок питания БП, включающий силовой трансформатор и три выпрямителя, собранных по мостовой схеме, предназначен для питания измерительной схемы прибора, электромагнитного клапана газовой схемы и усилителя постоянного тока УПТ.

В процессе эксплуатации прибора необходимо контролировать и устанавливать расход газа, равный 50 см³/мин, через чувствительный элемент.

Через 1250 ч работы влагомера требуется заменять фильтрующий элемент в фильтре тонкой очистки газа.

Влагомер к газовым сетям подключают нержавеющей стальной трубкой (материал X18H9T) диаметром 3 мм с максимально допустимой длиной 40—60 см.

Измерители запыленности. Осуществляют контроль запыленности воздушной среды, технологических газов и концентрации аэрозольных частиц. В часовой, оптической, электронной промышленности существуют определенные нормы запыленности воздуха и газов на участках монтажа, сборки и испытаний изделий.

Превышение допустимых норм запыленности технологического газа приводит к браку изделий.

Анализатор запыленности АЗ-5 (рис. 150,а) используется для определения запыленности воздуха и технологических газов, для проверки эффективности работы технологических воздушных и газовых фильтров, определения концентрации аэрозоля в воздушном бассейне, определения источника запыленности аэрозольными частицами.

Прибор представляет собой фотоэлектрический счетчик аэрозольных частиц и позволяет измерять концентрации пыли от 1 до 300 000 частиц в литре. В приборе имеется переключатель размера регистрируемых частиц соответственно: 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1; 1,5; 2; 4; 7; 10 мкм.

Прибор имеет два канала измерений: канал дозированного измерения и канал непрерывного измерения. Канал дозированного измерения применяется для определения концентрации от 1 до 250 частиц в литре. Время цикла измерения 50 ± 2 с. Расход анализируемой среды за это время — один литр. При больших концентрациях используется канал непрерывного измерения (250—300 000 частиц).

Принцип работы прибора основан на рассеивании света измеряемыми аэрозольными частицами. При этом существует количественная зависимость между размерами частиц и интенсивностью рассеянного света.

Основными элементами прибора являются оптический датчик и электрический блок.

На рис. 150,б показана схема оптического датчика анализатора запыленности АЗ-5.

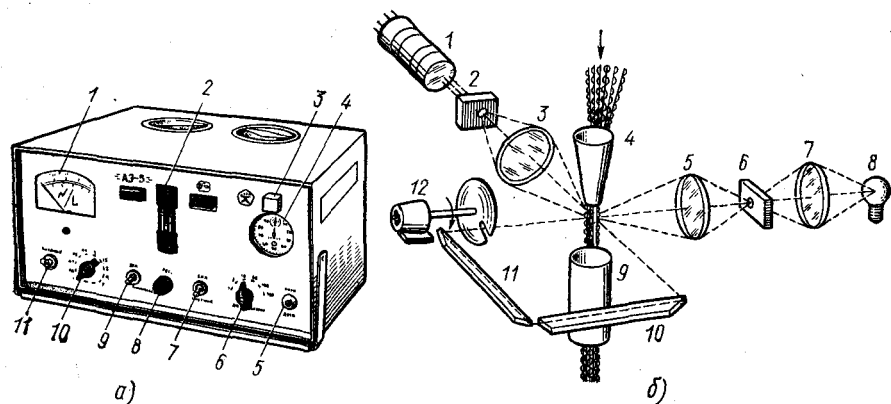


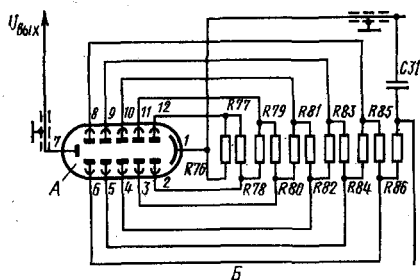
Рис. 150. Измеритель запыленности АЗ-5:

а — общий вид: 1 — счетчик, 2 — ротаметр, 3 — кнопка «сброса» показаний, 4 — счетчик малых количеств аэрозоля, 5 — кнопка пуска счетчика, 6 — переключатель диапазонов, 7 — тумблер включения счетчика, 8 — регулятор расхода, 9 — тумблер включения насоса, 10 — переключатель размера частиц, 11 — тумблер «Сеть», 12 — тумблер включения насоса, 1 — фотоумножитель, 2, 6 — диафрагмы, 3, 5, 7 — объективы, 4 — сопло, 8 — источник света, 9 — трубка, 10, 11 — волноводы, 12 — модулятор света

Анализируемая пыль ~~просасывается~~ засасывается через сопло 4 в измерительную полость с постоянным расходом, определяемым по ротаметру, и выходит из датчика через трубку 9 вывода аэрозоля. Перпендикулярно измерительной полости расположены источник света 8, два объектива 5, 7 и диафрагма 6, создающие сфокусированный световой луч. Под прямым углом к нему установлены объектив 3 и диафрагма 2, которые образуют луч, направленный от источника света 8 к фотоумножителю 1. Световые волноводы (призмы) 10, 11 и прерыватель (модулятор) светового потока 12 служат для контроля и калибровки размеров частиц пыли.

Рис. 151. Схема фотоумножителя ФЭУ с делителем напряжения прибора АЗ-5:

А — фотоумножитель ФЭУ, Б — делитель напряжения



Фотоумножитель А (рис. 151) представляет собой прибор, состоящий из фотокатода 1, анода 7 и системы динодов 2—12, по-

звolyающих производить умножение «входных» электронов за счет явления вторичной электронной эмиссии. После первого динода 2 вылетает уже большее количество электронов, увеличиваясь на последующих динодах, количество электронов усиливается во много раз (в пределах 10^5 — 10^9), поэтому на аноде 7 может возникнуть существенный фототок.

Питание фотоэлектрического умножителя ФЭУ подается через делитель напряжения, распределяющий напряжение постоянного тока между динодами 2—12. Если в измерительной полости пыли отсутствует, то фототок ФЭУ практически отсутствует.

При попадании пыли в измерительную камеру появляется рассеянный свет от их частиц и на выходе ФЭУ возникает электрический сигнал, длительность которого равна времени пролета частицы через полость; а амплитуда сигнала определяется размером частиц.

Количество пыли в зависимости от измеряемого предела определяется по электромеханическому счетчику или по шкале показывающего прибора, которая отградуирована в единицах изменения запыленности (частиц/л).

§ 9. Концентраторы

Концентраторы позволяют контролировать концентрацию вещества в водных растворах. Концентрация выражается в процентном или весовом содержании вещества в единице объема воды (% , мг/л).

Концентраторы в зависимости от назначения разделяются на солемеры, концентраторы и др.

Солемеры применяются для определения солесодержания в технической воде, в водных растворах, в конденсате турбин и в паре котлов. Наличие даже незначительного содержания солей в паротурбинных установках и котлах ухудшает эксплуатационный режим теплоэнергетических установок — в оборудовании появляется накипь, что приводит к увеличению удельных норм расхода топлива, а также к авариям трубопроводов из-за накипи в местах перегрева. Для борьбы с такими явлениями производят химводоочистку, т. е. удаление солей, кислот и т. п.

Солемер типа СС работает на принципе изменения электропроводности солевого раствора. Чем меньше содержание соли, тем больше электрическое сопротивление раствора. Прибор обеспечивает сигнализацию предельного значения солесодержания.

Датчиком прибора является сосуд с двумя электродами, который заполнен контролируемым раствором. При изменении температуры раствора изменяется его электропроводность (при изменении температуры на 10°C электропроводность меняется на 25%), поэтому для устранения этого влияния в приборе предусмотрена температурная компенсация. Прибор имеет ряд существенных недостатков: при загрязнении и поляризации электродов, а также при наличии в растворе примесей кислот и солей

погрешность измерений возрастает. Измерение электропроводности раствора производится по схеме моста переменного тока, в котором электроды датчика составляют одно плечо моста, остальные сопротивления являются постоянными сопротивлениями моста.

При отсутствии солей в воде мост уравновешен и в измерительной диагонали ток отсутствует. Чем больше солесодержание в водном растворе, тем больше разбалансирован мост и больше ток в измерительной диагонали, а следовательно, и в измерительном приборе. Таким образом, ток в приборе является мерой солесодержания.

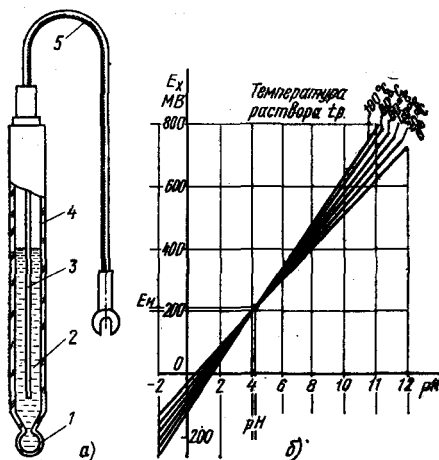
Солемер СС применяют в широком диапазоне измерения солесодержания от 0,05 до 1000 мг/л. Температура контролируемой среды должна быть 15—85°C. Основная погрешность прибора $\pm 3\%$ от верхнего предела измерения.

Концентратомеры применяют для определения концентрации кислот и щелочей в технологических процессах очистки и нейтрализации производственных стоков, растворов и пульп.

Датчики концентратометров включаются в одно из плеч мостовой измерительной схемы, подобно датчикам солемеров. При изменении концентрации растворов изменяется ток в измеритель-

Рис. 152. Измерительный электрод концентратометра:

а — стеклянный электрод, б — график зависимости э. д. с. электродных систем от температуры раствора t_p и рН



ной диагонали и в измерительном приборе, шкала которого отградуирована в единицах измерения концентрации.

Наиболее распространенными типами датчиков концентратометров являются проточные ДПр и погружные ДПг. Проточные датчики предназначены для измерения концентрации растворов, протекающих по трубопроводам или отбираемых из аппарата; погружные — для измерения концентрации растворов в открытых и закрытых емкостях и аппаратах.

В датчиках ДПр и ДПг в качестве измерительных электродов применяют стеклянные электроды (рис. 152, а). Корпус электрода 4 изготовлен из калиброванной стеклянной трубки. Шарик 1, выполненный из электродного стекла, является активной частью электрода. В корпусе 4 установлен контактный бромосеребряный электрод 3, а в полость заливается раствор 2 бромистоводородной кислоты. Выводной проводник 5 от электрода заканчивается наконечником. Электрическая связь между контролируемым раствором и раствором, находящимся во внутренней части электрода, осуществляется по поверхности шарика 1.

Дополнительно к основному стеклянному электроду в концентратомере используется вспомогательный проточный или непроточный электрод. Для получения более высокой точности контроля применяют датчики с проточным вспомогательным электродом.

Электродные системы датчика (рис. 152,б) в зависимости от концентрации раствора развивают определенную э. д. с., причем изменение температуры раствора приводит к изменению э. д. с. В связи с этим в схемах концентратометров часто используют специальные компенсаторы.

Работа компенсатора 3 (рис. 153) сводится к следующему: последовательно с электродвижущей силой электродной системы 1, 2 включена мостовая схема сопротивлений R_1 , R_2 , R_3 и R_4 , которая питается постоянным напряжением от сухого элемента СЭ. Переменным резистором R_2 напряжение компенсатора можно изменять в пределах ± 50 мВ.

Если при тарировке датчика в растворе, для которого известна величина э. д. с., развиваемая электродной системой, отличается на номинальной величины, то за счет переменного резистора R_2 можно на выходе датчика установить требуемое напряжение.

В качестве преобразователя применяется высокоомный измерительный преобразователь П-261, который представляет собой прибор для преобразования выходной величины э. д. с. чувствительных элементов датчиков в выходной унифицированный сигнал постоянного тока 0—5 мА. Преобразователь используется в различных системах автоматического контроля и регулирования концентрации растворов в различных технологических процессах. На выход преобразователя подключают автоматический самопишущий прибор с регулирующим устройством.

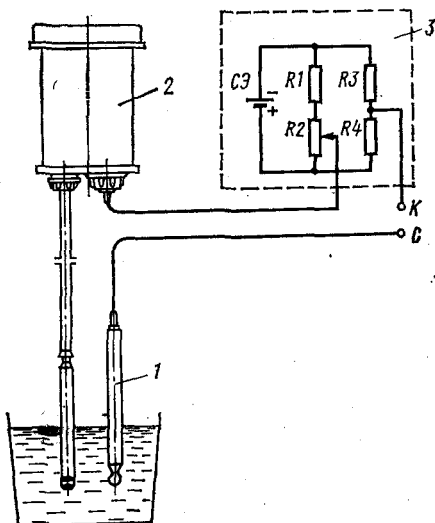


Рис. 153. Электрическая схема датчика с компенсатором

§ 10. Вспомогательные устройства газоанализаторов

Вспомогательные устройства служат для подготовки газов и жидкостей к подаче в анализаторы в соответствии с техническими требованиями заводов-изготовителей.

По назначению такие устройства подразделяются на следующие группы: газозаборные и пробоотборные устройства; фильтры для очистки от примесей (химических и механических); устройства регулирования давления и расхода; охладители; насосы и по-

будители расходов; комплексные устройства для очистки, охлаждения и регулирования.

Газозаборное устройство ГЗУ-2 применяется как для отбора пробы, так и очистки анализируемого газа от пыли. Ceramicкий фильтр с порами размером 70—90 мкм позволяет эффективно производить очистку газа от пыли со 120 г/нм^3 на входе до 2 г/нм^3 на выходе. Рабочий интервал температуры газа 100—600 °С, давление 10 кПа ($0,1 \text{ кгс/см}^2$).

Фильтры в зависимости от исходного количества пыли и механических включений подразделяются на ватные, керамические и электрические.

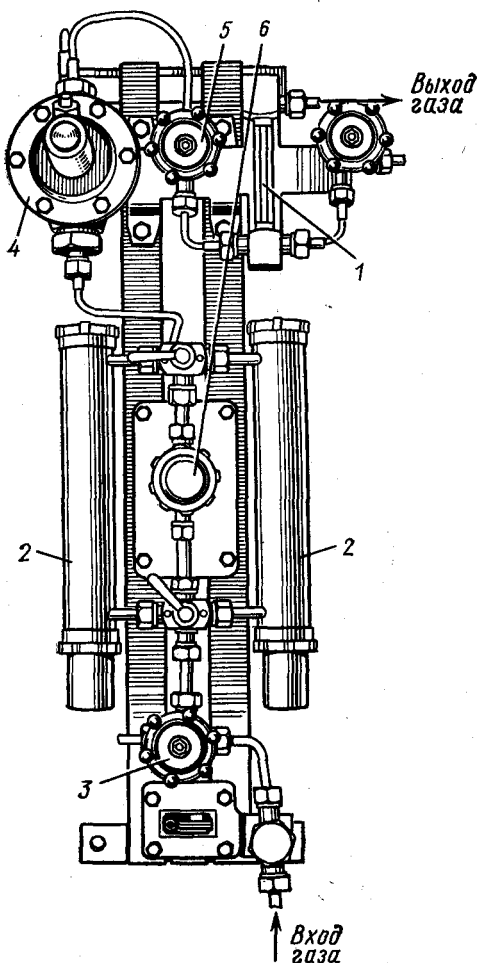


Рис. 154. Блок типа Б:

1 — ротаметр, 2 — патрон, 3, 5 — вентили, 4 — регулятор давления, 6 — фильтр

Ватные фильтры из ткани Петрянова используются для защиты газовых линий приборов от незначительного количества пыли в пределах 1—10 мг/нм^3 ; керамические — в широком интервале запыленности от 10 до 120 мг/нм^3 . Электрические фильтры еще не нашли широкого применения ввиду своей сложности и использования в них высокого напряжения постоянного тока в пределах 4000—5000 В.

Принцип действия фильтров заключается в способности газа ионизироваться в электрическом поле и заряжать механические примеси, которые затем оседают на противоположно заряженных электродах.

Газоочистное устройство типа ГОУ используется для очистки и осушки газа от вредных примесей, вызывающих дополнительную погрешность газоанализатора. Устройство имеет ряд фильтров, заполненных специальными поглотителями — цеолитом или силикагелем. На выходе устройства установлен контрольный ватный фильтр со смотровым стеклом. При насыщении и отработке поглотителя фильтр изменяет свою окраску.

Редуктор давления РД-10

используется для регулирования и понижения давления анализируемого газа и предотвращения повышения давления газа в приборе выше заданного предела с помощью предохранительного клапана. Редуктор позволяет регулировать избыточное давление от 1000 до 10 кПа (10—0,1 кгс/см²).

Холодильник типа ХК позволяет охлаждать газовую смесь и уменьшать ее влагосодержание. Максимальная рабочая температура газа на входе холодильника составляет 600 °С, на выходе — не более 40 °С, рабочее давление газовой смеси не выше 2,5 МПа (25 кгс/см²).

Блоки типа Б (рис. 154) являются комплексными устройствами и предназначены для контроля и регулирования расхода анализируемых газов. Блок позволяет производить очистку и осушку газов. На выходе блока установлен ротаметр 1 с запорно-регулирующим вентилем 5 для регулирования и поддержания требуемого расхода газа через газовую схему газоанализатора. При отсутствии требуемого избыточного давления анализируемого газа, на входе в газоанализатор, применяют побудители расхода, пневматические нагнетатели или воздушные эжекторы. Регулятор давления 4 стабилизирует давление газа.

Побудитель расхода ПР-7 имеет электродвигатель, ось которого связана с ротационным насосом. При включении электродвигателя насос под действием разрежения просасывает газ через газовую схему прибора.

Воздушный эжектор типа ВЭЖ позволяет просасывать контролируемый газ через газоанализатор.

Контрольные вопросы

1. Какой газ обладает в магнитном поле свойством терромагнитной конвекции?

2. Поясните принцип действия магнитных газоанализаторов типа МН. При изъятии магнитной системы над плечевым элементом R6 (в рабочем мосту I) сохранит ли газоанализатор свою работоспособность?

3. Чем отличается конструктивно газоанализатор по теплопроводности типа ТП от магнитного газоанализатора типа МН? По табл. 13 определите, какие газы имеют большую теплопроводность?

4. Какие газоанализаторы используют для автоматической сигнализации и определения взрывоопасных газов? Сохраняют ли свою работоспособность данные газоанализаторы при неисправностях побудителя расхода?

5. С помощью какого элемента и как определяется наличие расхода газа через газовый тракт газоанализатора (всех типов и конструкций)?

6. Определите, как работает схема сигнализации газоанализатора типа СВК-3М при обрыве при перегорании чувствительных элементов R1—R4?

7. На каком принципе работают оптико-акустические газоанализаторы?

8. Будет ли работать кулонометрический влагомер типа «Байкал» при: отсутствии потока газа через датчик; отсутствии напряжения (70 В) на клеммах датчика; неисправности регулятора расхода; закрытом «байпасе» в газовой схеме.

9. Можно ли настроить газоанализаторы при несоблюдении синфазности питания электроблока и электронного регистрирующего прибора?

10. В чем заключается подготовка газов перед подачей их на газоанализаторы?

АВТОМАТИЧЕСКИЕ РЕГУЛЯТОРЫ

§ 1. Основные понятия и определения

Внедрение автоматизации производства позволяет решить основные экономические задачи — повысить качество выпускаемой продукции и снизить ее себестоимость. Большое значение в автоматизации технологических процессов отводится новой отрасли автоматики — технической кибернетике.

Автоматизацией называется управление и контроль производственного процесса без непосредственного участия технологического персонала. Автоматизация может быть частичная и полная (комплексная). При частичной автоматизации автоматизируются отдельные участки производства и узлы оборудования; при комплексной — автоматизируется весь технологический цикл или процесс, все технологическое оборудование.

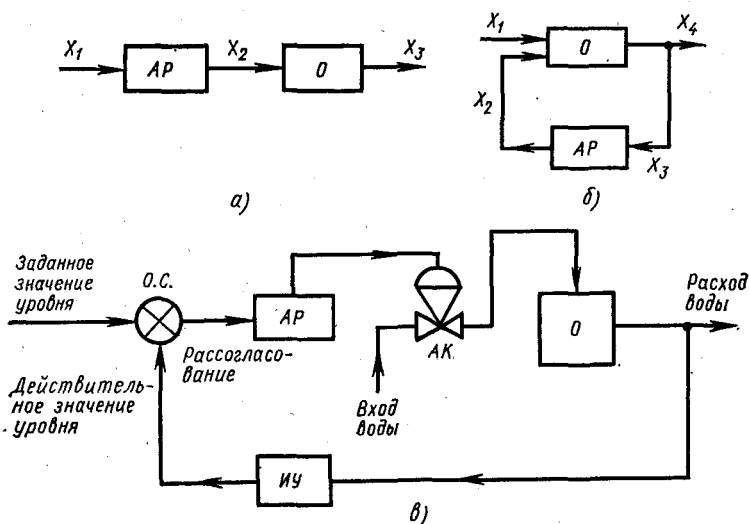


Рис. 155. Структура автоматической системы регулирования (АСР):

а — разомкнутая: АР — автоматический регулятор, О — объект, x_1 — входное воздействие, x_2 — внутреннее воздействие, x_3 — выходное воздействие; б — замкнутая: x_1 — входное воздействие, x_2 — управляющее воздействие, x_3 — внутреннее воздействие, x_4 — выходная величина; в — структурная схема системы автоматического регулирования: ИУ — измерительное устройство, АК — автоматический клапан, ОС — орган сравнения (сумматор)

В понятие автоматизации включают: автоматическую технологическую сигнализацию отклонений рабочих параметров; автоматическую защиту и блокировку; дистанционное управление и контроль; автоматическое управление и регулирование.

Автоматические системы регулирования (АСР) подразделяются на два вида: замкнутые и разомкнутые.

В замкнутых автоматических системах регулирования (рис. 155,б) существует замкнутая связь между объектом и регулятором как по прямому, так и по обратному воздействию (например, автоматическое поддержание температуры объекта). В разомкнутых автоматических системах (рис. 155,а) между объектом и регулятором существует только прямая связь.

Структура и элементы автоматических систем. Автоматическая система или автоматический регулятор служат для поддержания контролируемой величины на заданном значении. В связи с этим регулятор должен выполнять следующие функции:

- измерять контролируемую величину;
- сравнивать значение измеренной величины с заданным значением (заданием), определять их рассогласование;
- осуществлять регулирование процесса при получении сигнала рассогласования.

В систему регулирования входят следующие основные элементы.

Чувствительный элемент, являясь измерительным органом, предназначается для измерения фактического значения регулируемой величины и преобразования этой величины в сигнал управления.

Задатчик представляет собой устройство, с помощью которого задается требуемое значение регулируемой величины в системе регулирования.

Орган сравнения (сумматор) позволяет сравнить фактическое и заданное значения регулируемой величины.

Усилитель предназначается для усиления сигнала рассогласования органа сравнения.

Исполнительный элемент (механизм) является устройством, с помощью которого регулятор оказывает свое воздействие на регулируемый процесс для поддержания заданного значения контролируемой величины.

Управляющее воздействие представляет собой сигнал определенной величины, сформированный регулятором для управления регулируемым объектом.

Сигнал обратной связи представляет воздействие регулируемого объекта на сам регулятор.

Условные обозначения приборов и элементов автоматики в схемах АСР представлены в табл. 33.

Каждый автоматический регулятор имеет порог чувствительности. Он характеризуется минимальным изменением значения контролируемого параметра, при котором происходит включение регулятора с целью поддержания заданного значения этого параметра.

Вследствие инерционности звеньев регулятора и исполнительного механизма регулятором присуща такая характеристика, как инерционность; она проявляется в отставании времени начала перемещения регулирующего органа (исполнительного механизма) по отношению ко времени отклонения контролируемого

параметра от заданного значения. Поэтому инерционность систем автоматического регулирования (САР) ухудшает качество регулирования технологического процесса.

Транспортное запаздывание в САР связано с временем распространения сигнала — транспортировки газов, жидкостей, пульпы и других от места отбора до регулятора.

Поэтому такие характеристики САР, как инерционность и транспортное запаздывание, обязательно учитываются при определении устойчивости и качества регулирования.

Объект, в котором поддерживается процесс автоматического управления (регулирования), называется объектом автоматического управления. Например, для автоматической системы регулирования частоты вращения дизель-генератора объектом регулирования является дизель-генератор, а регулируемым параметром — частота вращения вала дизель-генератора.

Автоматическим регулированием называется автоматическое поддержание требуемых значений параметров объекта, осуществляемое методом измерения состояния объекта и воздействия на него регулирующего органа.

Изменения внешних и внутренних факторов, вызывающих отклонение регулируемого параметра от заданного значения и нарушающие состояние равновесия объекта, называется возмущающим воздействием или возмущением.

Для нового равновесия САР автоматический регулятор должен отработать регулирующее воздействие, которое прикладывается к объекту.

Кроме того, по виду зависимости между значением регулируемого параметра и значением внешнего воздействия (возмущения) на объект регулирования различают статическое и астатическое регулирование.

При статическом регулировании в установившемся режиме существует определенная зависимость между величиной отклонения регулируемого параметра от заданного значения и величиной воздействующего возмущения. В связи с этим в статических САР наблюдается остаточное отклонение регулируемого параметра от его номинального значения.

При астатическом регулировании в установившемся режиме отклонение регулируемого параметра от заданного значения равно нулю.

Устойчивость и качество регулирования САР. Вследствие различных воздействий, приводящих к отклонению регулируемого параметра от заданного значения автоматическая система может выходить из состояния равновесия.

Устойчивостью САР называется ее способность восстанавливать состояние равновесия, из которого она выводится под влиянием воздействий.

Основным показателем качества регулирования в установившемся режиме является точность поддержания регулируемого параметра.

В статических системах точность характеризуется величиной отклонения фактического значения регулируемой величины от его заданного значения, т. е. величиной ошибки. Поэтому в статических САР эта ошибка носит название статической ошибки или статизма.

В астатических системах отклонение регулируемого параметра от заданного значения равно нулю, следовательно, статической ошибки не существует.

Динамическая ошибка в САР, т. е. максимальное отклонение регулируемой величины от заданного значения, характеризует качество регулирования в переходном (неустановившемся) процессе.

В ряде случаев при регулировании по возмущению вместо понятия «динамическая ошибка» вводится другой показатель качества регулирования — перерегулирование.

Перерегулирование в САР представляет собой увеличение регулируемой величины от заданного значения при переходном процессе, при скачкообразных входных воздействиях.

Одним из основных свойств объектов регулирования является способность объекта сохранять свою устойчивость без непосредственного участия автоматического регулятора. В связи с этим объекты делятся на устойчивые и неустойчивые.

Объект является устойчивым, если он самостоятельно возвращается в свое первоначальное состояние при отклонении от состояния равновесия под действием возмущающего воздействия.

Если объект не может самостоятельно вернуться в устойчивое положение в результате возмущающего воздействия, то объект называется неустойчивым.

Существуют два основных типа регулирования: регулирование по возмущению; регулирование по отклонению регулируемой величины.

При первом типе регулирования из нескольких возмущений, воспринимаемых объектом, выбирается одно основное, которое, воздействуя на автоматический регулятор, отрабатывает величину управляющего воздействия на исполнительный механизм (клапан, задвижку), достаточную для поддержания заданного значения регулируемой величины.

Например, для автоматической системы поддержания напряжения генератора постоянного тока главным возмущением является изменение частоты вращения его ротора, так как при этом однозначно изменяется и напряжение на генераторе.

При увеличении частоты вращения напряжения возрастает и автоматический регулятор уменьшает ток возбуждения генератора до такой величины, при которой напряжение генератора равно заданному.

Если частота вращения снизилась, то напряжение на генераторе уменьшается. Регулятор напряжения увеличивает возбуждение до такой величины, при котором напряжение генератора равно заданному.

При регулировании по возмущению возможно стабильно поддерживать заданное напряжение при изменении частоты вращения генератора в широком диапазоне.

Такие системы имеют высокую устойчивость и простоту, однако не способны реагировать на другие возмущения.

При втором типе регулирования сравнивается фактическое значение регулируемого параметра с его заданным значением. Если возникает разность этих значений, то автоматическая система формирует регулирующее воздействие.

Для повышения качества регулирования сложных объектов, как правило, используют комбинированные системы автоматического регулирования, состоящие из двух указанных выше типов регуляторов.

Отечественная приборостроительная промышленность выпускает различные типы регуляторов, которые классифицируются по целому ряду признаков:

регуляторы подразделяются на электрические, электронные, пневматические, электропневматические, гидравлические и электрогидравлические;

в зависимости от характера регулирования контролируемой величины регуляторы делятся на обычные регуляторы, программные и оптимальные. Программные регуляторы осуществляют регулирование по заданной программе. Экстремальные (оптимальные) регуляторы поддерживают значение контролируемой величины таким образом, чтобы сам процесс регулирования являлся наиболее выгодным (оптимальным);

технологические регуляторы подразделяют на регуляторы теплотехнических величин (температура, давление, расход, скорость, уровень и химический состав) и электрических величин (ток, напряжение, частота и т. д.).

На рис. 155, в изображена типовая структурная схема системы регулирования.

§ 2. Типовые звенья системы автоматического регулирования

Все системы автоматического регулирования представляют собой совокупность целого ряда типовых устройств — исполнительных механизмов, двигателей, сервоприводов, редукторов, усилителей, механических и электрических контуров и т. п.

Все эти устройства могут представляться рядом типовых звеньев — безынерционных, инерционных (апериодических), интегрирующих, дифференцирующих и колебательных, которые имеют определенные динамические характеристики. Поэтому общая характеристика автоматической системы регулирования складывается из характеристик составных элементов — звеньев.

Динамическая характеристика звена определяет зависимость выходной величины $U_{\text{вых}}$ от входной величины $U_{\text{вх}}$: $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}}, t)$, где t — время.

Безынерционным (пропорциональным) звеном называется звено, у которого выходная величина: $x_{\text{вых}}$ пропорциональна

изменениям входной величины $x_{\text{вх}}$: $x_{\text{вых}} = kx_{\text{вх}}$, где k — коэффициент усиления (передаточное число звена). Характерной особенностью такого звена является его безынерционность, т. е. отсутствие запаздывания выходного сигнала при скачкообразном изменении входного сигнала.

На рис. 156, а показана характеристика безынерционного звена.

Апериодическим звеном называется звено, в котором при скачкообразном изменении входной величины выходная величина изменяется по экспоненциальному закону.

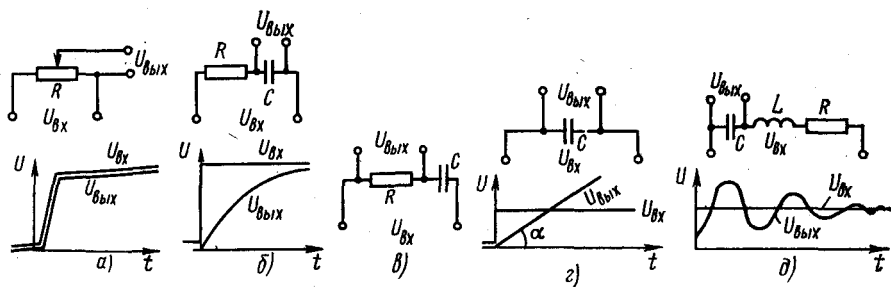


Рис. 156. Характеристики типовых звеньев систем автоматического регулирования:

а — безынерционное звено, б — инерционное звено, в — дифференцирующее звено, г — интегрирующее звено, д — колебательное звено; $U_{\text{вх}}$ — напряжение входа, $U_{\text{вых}}$ — напряжение выхода, R — сопротивление, C — емкость, L — индуктивность

Инерционное звено (рис. 156, б) состоит из резистора R и емкости C . Напряжение на входе и выходе схемы связано уравнением: $U_{\text{вх}} = U_{\text{вых}} + U_R = U_{\text{вых}} + IR$, где U_R — падение напряжения на резисторе R .

Напряжение на конденсаторе $U_{\text{вых}}$ зависит от величины тока, проходящего через конденсатор C , и величины сопротивления R . Для инерционного звена основной характеристикой является постоянная времени T , которая отражает экспоненциальный закон изменения выходной величины $U_{\text{вых}}$.

Постоянная времени T определяется произведением величин емкости C и сопротивления звена R ; $T = RC$. Апериодическое звено иногда называют инерционным, одноемкостным или статическим.

Дифференцирующим звеном называется звено, в котором выходная величина изменяется пропорционально скорости изменения входной величины. На рис. 156, в показана схема дифференцирующего звена. Для электрической цепи, состоящей из конденсатора и резистора, можно записать уравнение: $U_{\text{вх}} = U_C + U_R = U_C + U_{\text{вых}}$.

Из уравнения видно, что напряжение на входе схемы равно сумме напряжений на выходе схемы и на конденсаторе. Выходное напряжение имеет вид убывающей экспоненты при скачкообразном изменении входного напряжения $U_{\text{вх}}$. Примером диф-

Ференцирующего звена является электрическая цепь, состоящая из резистора и емкости (или индуктивности).

Интегрирующим звеном называется звено, в котором скорость изменения выходной величины пропорциональна величине изменения входной величины. Интегрирующими звеньями (рис. 156,г) являются емкость, электродвигатель, золотниковый механизм и т. д. Основным параметром такого звена является тангенс угла наклона временной характеристики $\operatorname{tg} \alpha$, который характеризует скорость изменения выходной величины.

Колебательным звеном называется звено, в котором при скачкообразном изменении входной величины выходная величина принимает установившееся новое значение после ряда затухающих колебаний. К таким звеньям можно отнести колебательные электрические и механические контуры.

На рис. 156,д показана схема колебательного звена и его временная характеристика.

§ 3. Законы регулирования

Существуют пять основных законов регулирования: позиционный — Т, пропорциональный — П, интегральный — И, пропорционально-интегральный — ПИ, пропорционально-интегрально-дифференциальный — ПИД.

Позиционное регулирование (рис. 157,а) производится по принципу «открыть — закрыть» и подобно работе релейных элементов. Такая система регулирования является простейшей и характеризуется автоколебательным переходным процессом.

Режим автоколебаний в САР проявляется при неустойчивых переходных процессах, когда амплитуда и частота колебаний постоянны.

Примером позиционной системы регулирования является регулирование уровня воды в рабочей емкости с помощью поплавкового реле типа РУС, чувствительным элементом которого является сиффон.

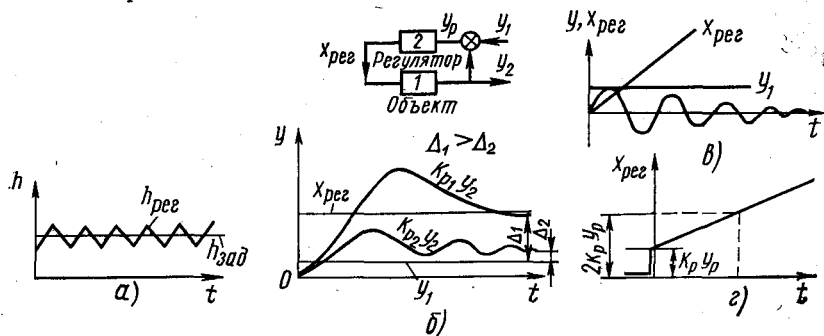


Рис. 157. Переходные процессы регулирования при различных законах регулирования:

а — позиционный закон, б — пропорциональный закон, в — интегральный закон, г — пропорционально-интегральный закон

Если контролируемый уровень ниже заданного, реле РУС замыкает свой исполнительный контакт в цепи электродвигателя насоса, пополняющего уровень воды. При достижении заданного уровня реле размыкает свой контакт в цепи управления электродвигателя и насос прекращает подпитку водой.

Пропорциональный закон (рис. 157,б) позволяет изменять положение регулирующего органа пропорционально отклонению регулируемой величины от заданного значения $x_{\text{рег}} = K_p(y_1 - y_2) = K_p u_p$, где K_p — коэффициент усиления регулятора, y_1 — задание регулируемой величины, y_2 — истинное значение регулируемой величины, u_p — рассогласование.

Для характеристики переходного процесса регулирования большое значение имеет величина коэффициента усиления K_p .

Для пропорционального закона регулирования характерна статическая ошибка регулирования Δ , связанная с самим принципом регулирования — изменением положения регулирующего органа только при отклонении регулируемого параметра от заданной величины. При увеличении коэффициента K_p уменьшается Δ , а при K_p больше некоторых величин переходный процесс регулирования может носить колебательный характер.

Несмотря на статическую ошибку регулирования, П-регуляторы широко применяются в системах автоматического регулирования.

Интегральный закон (рис. 157,в) позволяет изменять скорость перемещения регулирующего органа пропорционально отклонению регулируемой величины от заданного значения. И-регуляторы обеспечивают устойчивую работу только на объектах с самовыравниванием, при этом переходный процесс регулирования имеет вид затухающих периодических колебаний. Из графика видно, что И-регулятор позволяет осуществлять регулирование без статической ошибки при установившемся процессе.

Пропорционально-интегральный закон (рис. 157,г) позволяет изменять как величину, так и скорость перемещения регулирующего органа пропорционально отклонению регулируемой величины от заданного значения. ПИ-регулятор, включая в себя пропорциональный и интегральный законы регулирования, очень часто может обеспечивать высокое качество регулирования, исключаящее статическую и уменьшающее динамическую ошибку системы.

ПИ-регулятор используется на объектах с самовыравниванием и без самовыравнивания.

При $K_p = 0$ регулятор работает по И-закону, при $T_{\text{из}} = \infty$ регулятор переходит на П-регулирование.

Время изодрома $T_{\text{из}}$ — это время, за которое происходит удвоенное приращение пропорциональной составляющей за счет интегральной составляющей регулятора. Время изодрома является одной из основных характеристик ПИ-регулятора.

Выходной сигнал регулятора $x_{\text{рег}}$ показан на рис. 157,г при скачкообразном входном сигнале.

На рис. 157 показаны кривые, характеризующие качество регулирования различных типов регуляторов на одном и том же объекте при одинаковых возмущающих воздействиях.

Из графиков видно, что П- и И-регуляторы имеют ряд недостатков. Например, П-регулятор при достаточно большом быстродействии допускает неравномерность, И-регулятор, не допуская неравномерности, приводит к значительному начальному перерегулированию и увеличению времени регулирования.

Характеристики ПИ- и ПИД-регуляторов наиболее полно отвечают основным требованиям регулирования: малому значению начального перерегулирования; малому значению статической ошибки регулирования.

§ 4. Пневматические регуляторы

Пневматические регуляторы имеют относительную простоту элементов, датчиков, усилителей и преобразователей; высокую надежность и компактность конструкции; возможность использования в пожаро- и взрывоопасных производствах. Все это создало предпосылки к созданию целого ряда типовых систем пневмо-

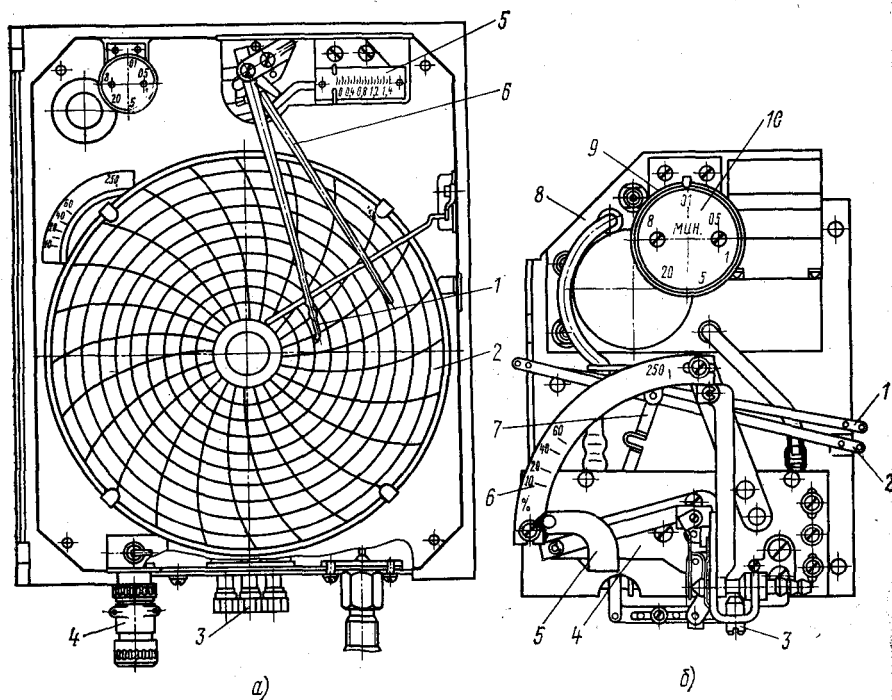


Рис. 158. Пневматический регулятор МТ-711р:

а — устройство регулятора: 1 — перо, 2 — диаграмма, 3 — штуцер, 4 — разъем, 5 — двухстрелочный манометр, 6 — стрелка задания; б — регулирующее устройство регулятора: 1, 2 — рычаги, 3 — регулировочный винт, 4 — регулирующий блок, 5 — стрелка пропорциональности, 6 — шкала пропорциональности, 7 — плата, 8 — интегральный блок, 9 — кольцо, 10 — шкала времени изодама

автоматики, среди которых основными являются системы АУС и УСЭППА.

Самопишущие приборы с пневматическим изодромным регулирующим устройством широко применяют для автоматического регулирования температуры, давления, уровня и расхода.

Пневматический регулятор МТ-711р показан на рис. 158,а. Регулятор имеет три штуцера 3: «вход», «выход» и «питание». На «вход» подключается контролируемое (регулируемое) давление, через штуцер «питание» осуществляется питание прибора сжатым воздухом 140 кПа (1,4 кгс/см²), а на «выход» подсоединяется линия питания сжатым воздухом пневматического исполнительного механизма. Стрелка с пером 1 связана с измерительным механизмом прибора и служит для автоматической записи контролируемого параметра на диаграмме 2; стрелка 6 является установочной стрелкой «задания» регулирования. При отклонении контролируемого давления от задания регулирующее устройство формирует пневматический сигнал в пределах 20—100 кПа (0,2—1,0 кгс/см²) и через штуцер «выход» воздействует на мембрану исполнительного механизма. При этом механизм закрывает или открывает рабочее сечение до тех пор, пока регулируемое давление не станет равно давлению «задания».

В верхней части прибора установлен двухстрелочный манометр 5, по верхней шкале которого контролируется давление питания прибора, по нижней — давление на выходе пневмоусилителя, т. е. выходной сигнал.

На рис. 158,б показано регулирующее устройство прибора. При изменении давления на входе прибора через рычаг 2 на вход регулирующего устройства подается сигнал, пропорциональный отношению давления к давлению «задания», который затем формируется в выходной сигнал прибора.

Время изодрома $T_{из}$ устанавливается перемещением кольца 9 относительно шкалы 10. При времени изодрома $T_{из} = \infty$ происходит полное закрытие дросселя регулирующего устройства и прибор работает как П-регулятор.

При изменении $T_{из}$ в пределах 0,1—20 мин можно получать различные статические характеристики регулятора.

Шкала 6 служит для изменения предела пропорциональности регулирования в пределах 10—250%.

Приборы серии КСЗ, представленные на рис. 159, с пневматическим изодромным регулирующим устройством подобны пневматическим регуляторам МТ-711р.

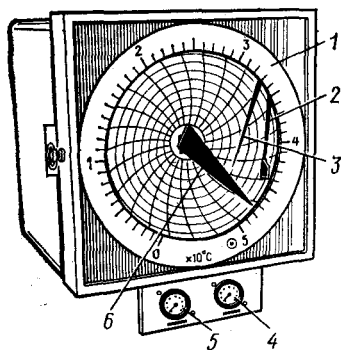


Рис. 159. Прибор с пневмо-выходом типа КСЗ:

1 — шкала, 2 — перо для записи, 3 — задатчик, 4 — манометр для контроля давления на выходе из прибора, 5 — манометр для контроля давления воздуха на входе в прибор, 6 — указательная стрелка прибора

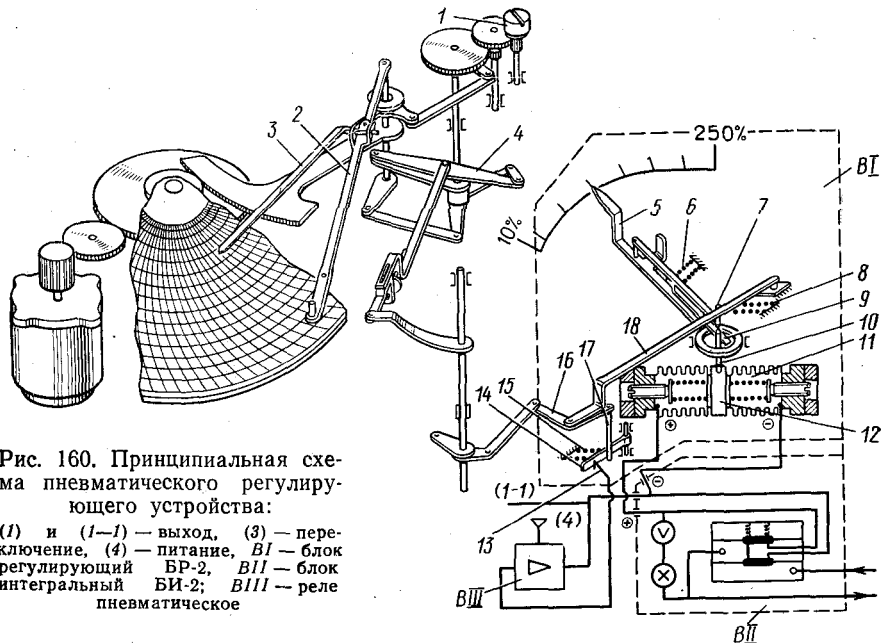


Рис. 160. Принципиальная схема пневматического регулирующего устройства:

(1) и (1-1) — выход, (3) — переключение, (4) — питание, BI — блок регулирующий БР-2, BII — блок интегральный БИ-2; BIII — реле пневматическое

Принципиальная схема изодромного регулятора, использованного в приборах КСЗ, приведена на рис. 160.

Значение регулируемого параметра задается ручкой 1 «Установка задания», расположенной на передней панели прибора, при вращении которой происходит перемещение указателя задания 3 относительно диаграммы.

Если значение регулируемого параметра совпадает со значением выставленного задания (перо 2 и указатель 3 совмещены), то давление в линии пневматического исполнительного механизма соответствует нормальному течению процесса. При рассогласовании между параметром и заданием положение средней точки коромысла 4 изменяется, что приводит к появлению входного сигнала регулятора. Входным сигналом регулятора является перемещение свободного конца углового рычага 16 регулирующего блока.

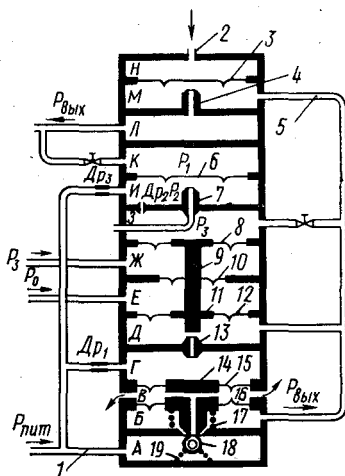
Регулятор может работать по пропорциональному П или пропорционально-интегральному ПИ закону регулирования.

Работа П-регулятора. При подаче на вход регулирующего блока входного сигнала угловой рычаг 16 поворачивается на оси и штифт 17 отходит от заслонки 14. Под действием пружины 15 заслонка приближается к соплу 13 и закрывает его отверстие. При этом в пневмореле возрастает давление, которое передается в сильфон отрицательной обратной связи 11, в результате чего перегородка 12 перемещается, и штифт 10, скользя вдоль поверхности рычага 9, поворачивает его под действием пружины 6.

При повороте рычага 9 штифт 7 отходит от поверхности рычага 18, который под действием пружины 8 поворачивается по часовой стрелке и перемещает угловой рычаг 16 в направлении, про-

Рис. 161. Схема регулирующего блока
ПРЗ.6:

1, 2, 5 — каналы, 3, 6, 8, 10, 12, 15, 16 — мембраны, 4, 7, 13 — сопло, 9 — шток, 11, 14, 17 — заслонки, 18 — шариковый клапан, 19 — пружина



типоволожном тому, в котором произошло перемещение штифта 17 при подаче сигнала на выход. Штифт 17 приближается к заслонке и отводит ее от сопла на некоторое расстояние, соответствующее давлению на выходе (т. е. в сильфоне отрицательной обратной связи).

Коэффициент пропорциональности регулирования настраивается поворотом рычага 5 вокруг оси, проходящей через штифты 7 и 10.

Величина предела пропорциональности определяется выраженным в процентах отношением величины перемещения пера (стрелки задания), вызывающего изменение давления на выходе прибора к величине всего поля диаграммы.

Например, при установке минимального предела пропорциональности (10%) перемещение пера по диаграмме относительно стрелки задания на 1% вызовет изменение давления на выходе на 10% от его рабочего диапазона. При этом пневматический исполнительный механизм (регулирующая задвижка), на который подается сигнал от регулятора, переместится на 10% своего полного хода.

При установке максимального предела пропорциональности (250%) то же перемещение пера вызовет изменение положения регулирующего органа (задвижки) только на 1/250 своего полного хода.

Агрегатная унифицированная система (АУС) состоит из стандартных блоков, которые выполняют самостоятельные функции. Входные и выходные параметры блоков представляют собой давления сжатого воздуха, изменяющиеся в определенном диапазоне. Блоки системы АУС подразделяют на регулирующие, регистрирующие, измерительные и вспомогательные, которые могут использоваться также в сочетании с электрическими приборами (с помощью электрических и электропневматических преобразователей). Приборы работают под давлением воздуха 140 кПа (1,4 кгс/см²), а диапазон давления с выхода блоков составляет 20—100 кПа (0,2—1 кгс/см²). В этом диапазоне работают все мембранные исполнительные механизмы.

Основным блоком системы является регулирующий блок ПРЗ.6 с дистанционным заданием. В блок входят усилительное реле, элементы сравнения, обратной связи, изодрома и отключающее реле.

На рис. 161 показана принципиальная схема регулирующего блока ПРЗ.6. Давление питания, равное 140 кПа (1,4 кгс/см²), поступает через канал 1 в камеру А и через сужающие устройства — дроссели Dp_1 и Dp_3 в камеры Г и И. Выходное отверстие камеры А прикрывается шариковым клапаном 18 с пружиной 19. Камера Е является камерой измерения. В камеру подается давление P_d от пневмодатчика, величина которого пропорциональна величине регулируемого параметра. Камера Ж является камерой задания, в нее поступает давление воздуха P_3 от задатчика. Между камерами З и Д расположен трехмембранный блок, образующий между мембранами 8, 10, 12 камеры Ж и Е.

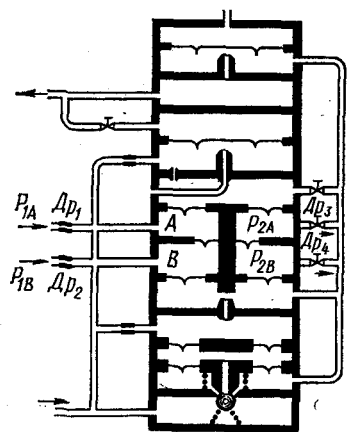


Рис. 162. Изодромный регулятор соотношения РБС-1

Давление в камере задания Ж меняется только при перестановке задания, а в камере измерения — при изменении величины регулируемого параметра. Так как площади мембран равновелики, то при равенстве давлений в камерах Ж и Е ход штока 9 определяется только соотношением давления задания и давления измерения в камерах Ж и Е. Давление в камере Д является отрицательной обратной связью, а давление в камере З — положительной обратной связью.

При изменении соотношения давлений P_0 и P_3 изменяется положение узла «сопло — заслонка», что вызывает изменение выходного давления $P_{\text{вых}}$ от 20 до 100 кПа (0,2—1 кгс/см²), поэтому трехмембранный блок, образованный камерами Е и Ж, называется элементом сравнения.

В силу своей конструкции камеры А, Б, В и Г представляют собой усилитель мощности, необходимый для преобразования выходного сигнала реле в усилие, пригодное для управления мембранным исполнительным механизмом.

Камеры Н, М и Л являются отключающим реле и используются для перевода управления регулируемого объекта в ручной или автоматический режим. При переводе в ручное управление через канал 2 в камеру Н подается давление питания, под действием которого мембрана 3 деформируется и прикрывает сопло 4, прекращая подачу выходного давления $P_{\text{вых}}$ из канала 5 в камеру М, т. е. происходит отключение регулятора.

Изодромный регулятор соотношения типа РБС-1 (рис. 162) отличается от регуляторов типа РБ проточной конструкцией камеры измерения А и камеры задания В. Давление от датчиков, измеряющих контролируемые параметры, соотношения которых требуется поддерживать постоянными, подается на эти камеры через постоянные дроссели Dp_1 и Dp_2 . С помощью регулируемых дросселей Dp_3 и Dp_4 обеспечивается настройка на заданную величину соотношения.

Изодромный регулятор соотношения типа РБС-1 (рис. 162) отличается от регуляторов типа РБ проточной конструкцией камеры измерения А и камеры задания В. Давление от датчиков, измеряющих контролируемые параметры, соотношения которых требуется поддерживать постоянными, подается на эти камеры через постоянные дроссели Dp_1 и Dp_2 . С помощью регулируемых дросселей Dp_3 и Dp_4 обеспечивается настройка на заданную величину соотношения.

Регулятор обеспечивает постоянное заданное соотношение параметров камер A и B , так как входное давление датчиков P_{1A} и P_{1B} пропорционально измеряемым параметрам.

На рис. 163 представлена схема регулирования соотношения двух параметров с помощью регулятора РБС-1. Параметр x является основным, y — ведомым. Давление от датчиков 1 и 3, пропорциональное параметрам x и y , поступает на регистрирующий прибор 2 и на регулятор соотношения 4, обеспечивающий соотношение параметров: $K=x/y$.

При изменении соотношения изменяется давление выходного сигнала регулятора и пневмосигнал управляет регулирующим пневматическим механизмом 5, открывая или закрывая его проходное сечение, с тем чтобы обеспечить заданное соотношение параметров.

Универсальная система элементов промышленной пневматологии УСЭППА включает в себя набор унифицированных элементов дискретного и непрерывного действия. Такие элементы komponуются, подобно электронным схемам на печатных платах, и состоят из пневмоусилителей и пневмореле. Отличительной осо-

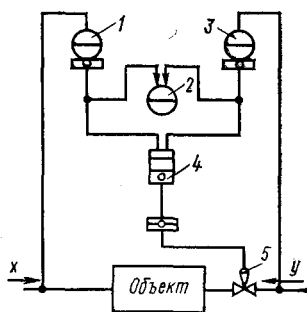


Рис. 163. Схема регулирования соотношения двух параметров с помощью регулятора РБС-1

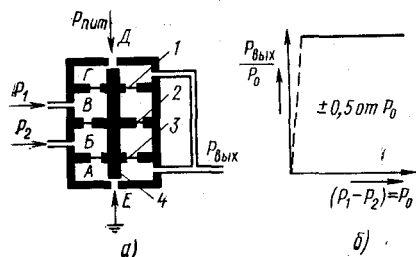


Рис. 164. Трехмембранное реле:

а — схема, б — характеристика

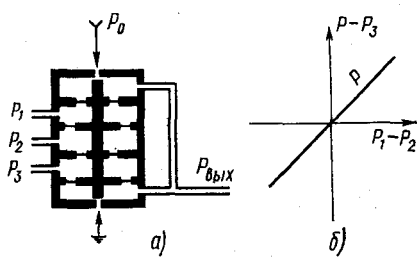


Рис. 165. Сумматор:

а — схема, б — характеристика

бенностью от системы АУС является наличие пневмосопротивлений, пневмемкостей и целого ряда других аналогов электрических и электронных элементов. Поэтому из таких элементов могут быть построены любые приборы-регуляторы с широкими диапазонами настроек, которые являются аналогами электрических и электронных регуляторов.

В настоящее время выпускается 37 различных элементов, выполненных на платах из органического стекла, склеенного из трех плоских пластин. В средней плате с двух сторон фрезеруют каналы. Связь между элементами обеспечивается через отверстие в ножках плат с помощью резиновых трубок. Давление питания приборов 140 кПа (1,4 кгс/см²), диапазон изменения выходного сигнала 20—100 кПа (0,2—1,0 кгс/см²). В качестве дискретных

сигналов принято давление 0 и 140 кПа (1,4 кгс/см²), т. е. отсутствию давления соответствует условно «0», а полному давлению 140 кПа — условно «1».

В качестве примера элемента дискретной техники на рис. 164 показано устройство и принцип действия трехмембранного реле, формирующего на выходе дискретные пневмосигналы «0» и «1».

Реле имеет четыре камеры А, Б, В, Г, разделенные мембранами 1, 2, 3, находящимися на металлическом штоке 4. Верхний конец штока является заслонкой питающего сопла Д, нижний — заслонкой сбросного сопла Е. Шток 4 в зависимости от соотношения давлений в камерах может перемещаться вверх или вниз, открывая одно из сопел и закрывая другое.

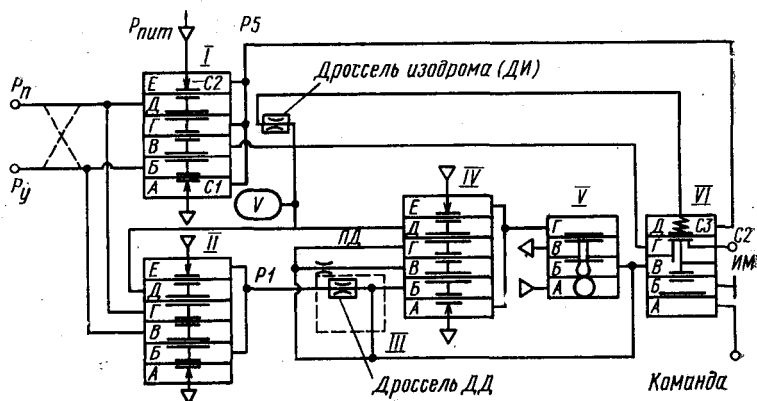


Рис. 166. Схема пневматического регулятора типа ПР3.21:

I, II, IV — элементы сравнения, III — сумматор, V — усилитель мощности, VI — включающее реле

При прикрытии верхнего — питающего сопла А и открытии нижнего сбросного сопла Б давление $P_{\text{вых}}$ (давление на выходе) уменьшится.

При обратном перемещении штока 4 $P_{\text{вых}}$ увеличивается.

Следовательно, данное реле формирует выходной сигнал давления «0» или «1» в зависимости от соотношения значений входных давлений P_1 и P_2 .

Реле имеет шесть выводов и в зависимости от схемы включения может выполнять функцию логических элементов ДА, НЕТ, И, ИЛИ, ЗАПРЕТ.

Сумматор (рис. 165) имеет коэффициент усиления, равный единице, и выполняет операцию суммирования входных сигналов: $P = P_1 + P_2 + P_3$.

Регуляторы системы «Старт», построенные на элементах УСЭППА, включают пневматические приборы-регуляторы, автоматические оптимизаторы и вычислительные устройства.

Основными типами пневматических регуляторов, используемых в автоматизации технологических процессов производства, являются: пропорциональный регулятор ПР2.5, пропорционально-

интегральный регулятор ПР3.21, регулятор соотношения ПР3.23, ПР3.24, пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор ПР3.25

Питание регуляторов осуществляется воздухом давлением 140 ± 14 кПа ($1,4 \pm 0,14$ кгс/см²).

При рассогласовании давления задания и контролируемого давления регулятор формирует соответствующий выходной пневматический сигнал от 20 до 100 кПа ($0,2—1,0$ кгс/см²), который используется для регулирования степени открытия (закрытия) пневматического исполнительного механизма (задвижки) с целью поддержания контролируемого параметра в заданном режиме. На рис. 166 представлена схема пропорционально-интегрального регулятора ПР3.21.

Схема регулятора включает три пятимембранных элемента сравнения *I*, *II*, *IV*, усилитель мощности *V*, сумматор *III* и выключающее реле *VI*.

Принцип работы элементов сравнения *I*, *II*, *IV* подобен реле П1Р1: камеры *A*, *E* имеют сопло-заслонку, давление питания подается в камеру *E*, а камера *A* через сопло связана с атмосферой. При перемещении вниз жесткого стержня, соединяющего мембраны, в камере *E* увеличивается расстояние сопло-заслонка, а в камере *A* сопло прикрывает заслонку. Поэтому происходит перераспределение потоков: в выходной линии давление повышается.

С выхода элемента сравнения *IV* сигнал поступает на вход усилителя мощности в камеру *Г*. Чем больше давление входного сигнала, тем более прогибается вниз мембрана в камере *Г*, надавливая соплом на малый шарик в камере *Б*, который перемещает большой шариковый клапан в камере *А*, открывая путь воздуху из камеры *А* в камеру *Б*, а затем на выключающее реле.

Усиление сигнала по мощности на элементе *V* выполняется за счет того, что в импульсную линию и выключающее реле поступает воздуха значительно больше, чем от элемента сравнения *IV*.

Элемент *I* регулятора выполняет интегральную часть, а элемент *II* — пропорциональную часть регулятора.

Регулятор может работать как пропорциональный при отключении блока *I*. Для этого необходимо полностью закрыть дроссель изодрома *ДИ* с тем, чтобы воздух от элемента *I* камеры *E*, проходя через выключающее реле *VI* (сопло *СЗ*), не попадал через дроссель *ДИ* на элемент *IV*.

Для устранения автоколебаний на выходе прибора в цепь положительной обратной связи (камеры *В* элемента *IV*) установлен постоянный дроссель *ПД*.

Статизм, т. е. коэффициент пропорциональности П-регулятора, регулируется с помощью дросселя *ДД*.

При необходимости использования ПР3.21 как пропорционально-интегральный регулятор необходимо открыть дроссель *ДИ*. Емкость *V* используется для создания необходимого времени задержки — времени изодрома (от 3 с до 100 мин).

В регуляторе отсутствует ручной задатчик для установки начального значения сигнала выхода.

Непосредственное суммирование выходных сигналов пропорциональной и интегральной частей регулятора производится в пропорциональной части.

В камеру D элемента сравнения I подключается давление P_{π} от датчика, а в камеру B — давление от задатчика, который установлен во вторичном регистрирующем приборе.

При возрастании давления от датчика P_{π} мембранная сборка элемента I перемещается вниз и давление P_5 на выходе элемента возрастает, при этом давление после дросселя изодрома $ДИ$ нарастает медленнее, так как скорость нарастания этого давления зависит как от степени открытия самого дросселя, так и рабочего объема емкости V .

В элементах I и II давление в камерах D изменяется от согласования интегральной части на входе регулятора. Это изменение давления вызывает дополнительное изменение сигнала на выходах элементов I, II .

Давление на выходе регулятора, поступающее на управление исполнительным механизмом, суммируется от пропорциональной и интегральной составляющих.

Гидравлическая система автоматики СЭГРА, подобно системе УСЭППА, позволяет на базе своих элементов создавать все типы регуляторов: пропорциональные — P , интегральные — I , пропорционально-интегральные — PI и пропорционально-интегральные с предварением — PID .

Рабочей жидкостью для элементов СЭГРА является веретенное масло.

Регуляторы системы «Старт» и регулирующие блоки АУС используют совместно с вторичными пневматическими показывающими или самопишущими приборами, которые записывают (или показывают) на диаграммной бумаге значение регулируемого параметра и сигнала управления.

В зависимости от количества регистрируемых параметров отечественной промышленностью выпускаются приборы системы АУС трех модификаций: 1РЛ-29А — для регистрации одного параметра, 2РЛ-29Б — для регистрации двух параметров, 3РЛ-29В — для регистрации трех параметров.

Данные приборы по принципу действия аналогичные друг другу и отличаются только количеством чувствительных элементов — сильфонов.

Кроме данных типов приборов выпускаются также вторичные показывающие приборы двух модификаций: 1МП-30А — для одного параметра, 2МП-30В — для двух параметров.

Вторичные приборы системы АУС выполняют по схеме прямого измерения, поэтому имеют сравнительно невысокий класс точности, равный единице.

На рис. 167 представлена принципиальная схема вторичного пневматического прибора типа 3РЛ-29В.

Прибор имеет три измерительных механизма, чувствительными элементами (датчиками) которых являются сильфоны 5. При подаче на сильфон пневмосигнала в нем появляется усилие, величина которого пропорциональна входному давлению воздуха. Это усилие вызывает пропорциональную деформацию (перемещение) сильфона, которая уравнивается силой упругой деформации пружины 4.

Вследствие деформации сильфона 5 тяга 3 повторяет его колебания и через шарнирно-рычажный механизм 2 посредством пера 1 наносит на диаграммной бумаге 8 изменение значения измеряемой величины во времени.

Для привода лентопотяжного механизма установлен синхронный электрический двигатель 6 с редуктором 7. Для изменения скорости привода диаграммы в пределах 20—120 мм/ч необходимо изменить расположение сменных шестеренок на приводе (согласно приложенной заводской кинематической схемы).

Для устранения дополнительной погрешности измерений из-за изменения окружающей температуры прибор имеет температурный компенсатор.

На лицевой части прибора имеется переключатель режима работы: «Автоматическое», «Ручное», «Промежуточное». Данный пневматический переключатель связан с регулятором, задатчиком прибора, датчиком, линией пневмопитания и пневматическим исполнительным механизмом (задвижкой).

Вторичные пневматические регистрирующие приборы системы «Старт» подобны приборам системы АУС, однако по принципу действия основаны на компенсационном методе, вследствие чего имеют сравнительно высокую чувствительность.

Типы регистрирующих приборов системы «Старт»: ПВ4.2 — для записи и показаний одного параметра, ПВ4.3 — для записи и показаний двух параметров, ПВ10.1 — для записи и показаний величины регулируемого параметра и значения пневмосигнала на исполнительном механизме (задвижки).

Привод диаграммы может осуществляться пневмоприводом П или электроприводом Э. Прибор с пневмоприводом имеет маркировку ПВ4.2П, с электроприводом — ПВ4.2Э.

Типы показывающих приборов системы «Старт»: ПВ1.1 — для показаний одного параметра, ПВ1.2 — для показаний двух параметров, ПВ1.3 — для показаний трех параметров.

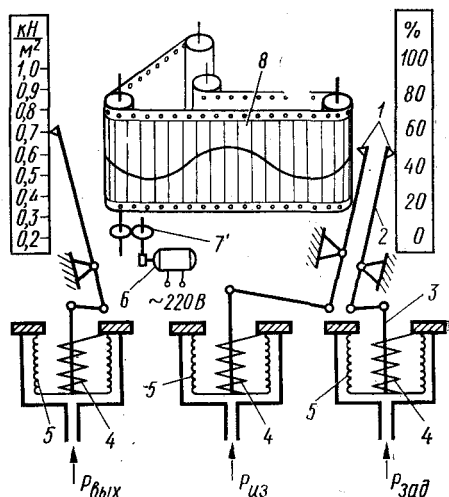


Рис. 167. Принципиальная схема прибора типа ЗРЛ-29В

§ 5. Электронные регуляторы

Электронные регуляторы широко применяют при автоматизации различных технологических процессов. Они позволяют поддерживать требуемые параметры — температуру, давление, расход, уровень, скорость и т. д.

Разработана целая серия регуляторов, среди которых нужно выделить: электронные регуляторы системы МЗТА (Московский завод тепловой автоматики), электронно-агрегатную унифицированную систему регулирования и контроля ЭАУС-У и электрон-

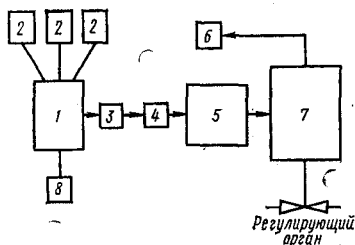


Рис. 168. Структурная схема электронного регулятора РПИБ:

1 — электронный регулятор, 2 — датчики, 3 — переключатель, 4 — ключ управления, 5 — пусковое устройство, 6 — указатель положения исполнительного механизма, 7 — исполнительный механизм, 8 — задатчик

ные приборные регуляторы завода «Теплоприбор». Регуляторы МЗТА типов РПИК и РПИБ состоят из унифицированных узлов и применяются для регулирования отдельных параметров и соотношения нескольких параметров.

Регуляторы работают с электрическими и электрогидравлическими исполнительными механизмами. На рис. 168 приведена структурная схема пропорционально-интегрального регулятора типа РПИБ. Сигналы от датчиков 2, контролирующих заданные параметры, поступают на вход электронного регулятора 1 в измерительный блок ИБ. В измерительном блоке поступающие сигналы датчиков сравниваются с заданным значением величины, установленной с помощью задатчика 8. При отклонении параметра от заданной величины, измерительный блок выдает сигнал на электронный блок ЭБ, выходной элемент которого управляет пусковым устройством 5 исполнительного механизма 7. В качестве датчиков регуляторов МЗТА используют термометры сопротивления, термопары, индукционные, ферродинамические и реостатные датчики, трансформаторы тока и напряжения.

Таблица применимости регуляторов приведена в табл. 16. На рис. 169 показана принципиальная электрическая схема измерительного блока И-С-62 регулятора РПИБ, работающего в комплекте с термометром сопротивления 3. Блок 2 представляет собой мост переменного тока, выходной сигнал которого подается на фазочувствительный усилитель.

Напряжение на диагональ питания моста подается от трансформатора *Tr1*.

Напряжение разбаланса с измерительной диагонали моста подается на первичную обмотку трансформатора *Tr2*.

При изменении температуры объекта термометр сопротивления 3 изменяет свое сопротивление, возникает разбаланс в мостовой

измерительной схеме и на выходе моста (точках Д—Е) появляется напряжение разбаланса. Вторичная обмотка трансформатора *Tr2* нагружена фазочувствительным усилительным каскадом, выполненным на транзисторе *ПП1*.

Ток управления, проходящий в цепи эмиттер — база транзистора *ПП1*, обеспечивается обмоткой *II* трансформатора *Tr1*, выпрямляется диодом *Д1* и стабилизируется стабилитронами *Д2*, *Д3*.

Силовой ток в цепи эмиттер — коллектор триода *ПП1* обеспе-

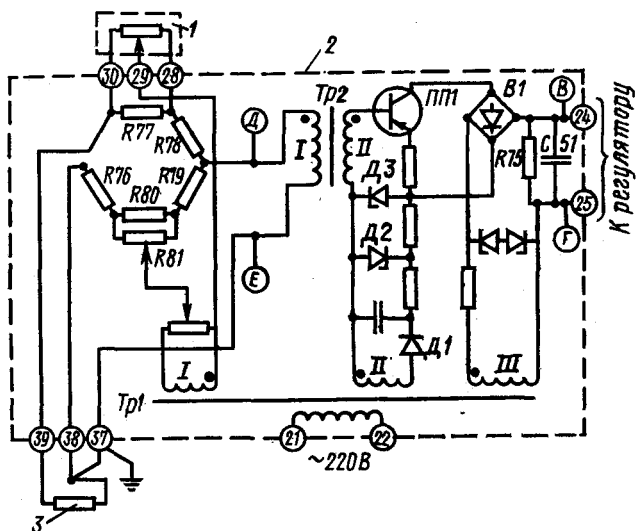


Рис. 169. Электрическая схема измерительного блока И-С-62:

1 — датчик, 2 — измерительный блок, 3 — термометр сопротивления (датчик)

чивается посредством напряжения от обмотки *III* трансформатора *Tr1*, которое выпрямляется выпрямителем *B1*.

Если напряжение на обмотке *II* трансформатора равно 0, то на резисторе *R75* потенциалы двух разных полупериодов равны, а следовательно, конденсатор *C51* заряд не накапливает. На резисторе *R75* каждый полупериод создает падение напряжения со знаками разной полярности.

При появлении напряжения на обмотке *II* транзистора *Tr2* в зависимости от его полярности в один из полупериодов падение напряжения на резисторе *R75* будет больше, чем при другом полупериоде. При этом на конденсаторе *C51* происходит накопление потенциала определенной полярности, т. е. на клеммах 24—25 появится постоянное напряжение.

Измерительный блок И—IV предназначен для работы с четырьмя первичными датчиками дифференциально-трансформаторной или индуктивной системы (рис. 170).

В измерительном блоке происходит суммирование и компенсация сигналов датчиков. При заданном значении регулируемого

параметра напряжение на выходе схемы Д—Е равно нулю. При изменении регулируемого параметра на выходе Д—Е возникает напряжение, пропорциональное изменению параметра.

Задатчик подключается к клеммам 28—29—30, датчики преобразователей — к клеммам 31—32; 33—35; 37—38; 39—36.

Таким образом, датчики с обмотками VI и V трансформатора *Tr1* образуют мосты переменного тока. Потенциометрами «Чувствительность» 1, 2, 3, 4 (резисторы *R81*, *R82*, *R84*) часть сигналов датчиков снимается и суммируется с напряжением задатчика и корректора на резисторах *R85* и *R80*.

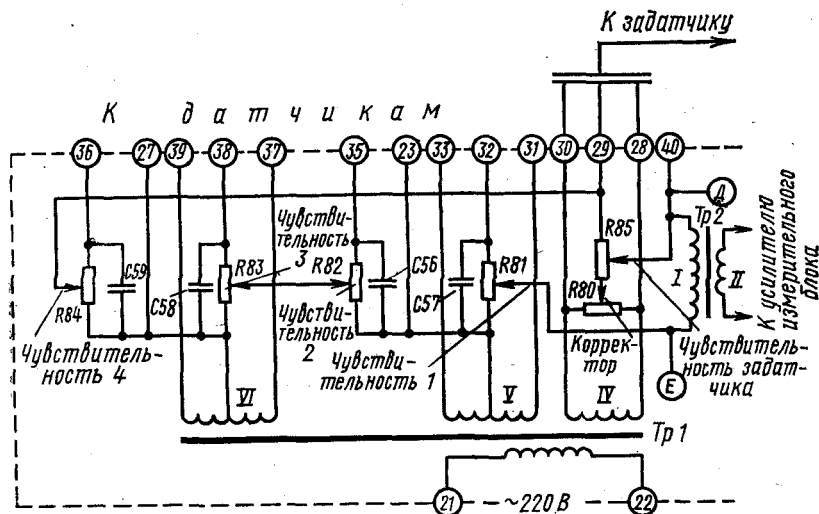


Рис. 170. Электрическая схема измерительного блока И-IV

Корректор служит для балансировки измерительной схемы, а задатчик позволяет вручную изменять уставку регулируемой величины. Задатчик и корректор включены в отдельный вспомогательный мост, питающийся от отдельной обмотки IV трансформатора *Tr1*.

После алгебраического суммирования сигналов датчиков результирующий сигнал поступает на вход трансформатора *Tr2*, вторичная обмотка которого, подобно блоку И-С-62, подключена к однокаскадному полупроводниковому фазочувствительному каскаду, выполненному на триоде ПП₁.

При заданном значении регулируемого параметра или соотношений параметров напряжение на выходе блока Д—Е равно нулю. При отклонении параметра от заданного значения на выходе Д—Е появляется напряжение, пропорциональное этому отклонению, фаза которого определяется знаком отклонения (больше, меньше).

Электронный блок РПИ регулятора РПИБ предназначен для усиления сигнала разбаланса, поступившего с измерительного

блока, и формирования выходного сигнала регулятора с заданным законом регулирования.

Принципиальная схема электронного блока РПИ показана на рис. 171 и включает в себя суммирующий каскад, модулятор, триггер и выходной каскад.

Суммирующий каскад работает как балансный фазочувствительный усилитель постоянного тока на двойном триоде Л1. Сигнал измерительного блока регулятора поступает на вход электронного блока (клемма 14), т. е. на сетку левого триода. На сетку правого триода подается напряжение обратной связи U_c от изодромного устройства. На конденсаторе С6 возникает суммирующее напряжение постоянного тока, представляющее собой раз-

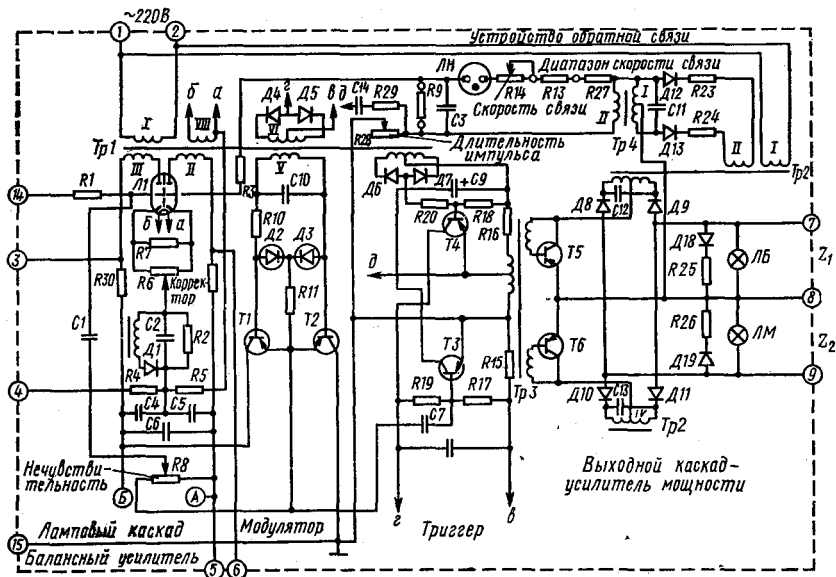


Рис. 171. Электрическая схема регулирующего прибора РПИ

ность напряжений на анодах двойного триода. Чем больше сигнал измерительного блока, тем больше величина напряжения на конденсаторе С6.

Модулятор служит для преобразования постоянного тока суммирующего каскада в переменный ток. При использовании транзисторов в качестве преобразователей на вход триодов подается преобразуемый сигнал постоянного тока, на базу — опорное напряжение, а на выходе получается преобразованное напряжение переменного тока.

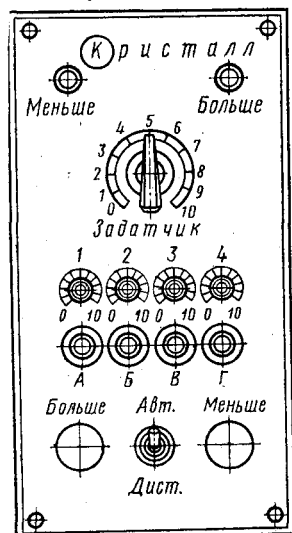
Модулятор собран на триодах Т1 и Т2, работающих в ключевом режиме. Стабилитроны Д2, Д3 поддерживают постоянной величину опорного напряжения, которое подключается на базы триодов. На выходе модулятора формируются прямоугольные импульсы разной полярности с частотой 50 Гц.

Триггер представляет собой электронную схему быстрогодействующего реле и выполнен на симметрично включенных транзисторах $T3$ и $T4$. Нагрузкой триггера является первичная обмотка трансформатора $Tr3$. Сигнал переменного тока с выхода модулятора подается на триггер через емкость $C7$. В зависимости от управляющего сигнала один из триодов триггера открывается, а другой — закрывается. При отсутствии сигнала с суммирующего каскада триод $T3$ закрыт, триод $T4$ — открыт. При появлении сигнала триггер переходит в другое устойчивое состояние (опрокидывается) — триод $T3$ открывается, триод $T4$ — закрывается.

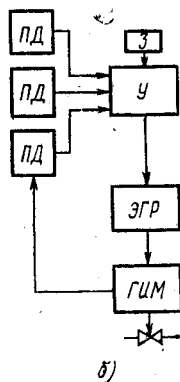
Выходной каскад. При периодическом переключении триодов триггера во вторичных обмотках трансформатора $Tr3$ наводится напряжение, фаза которого определяется полярностью напряжения суммирующего каскада. Поэтому эти напряжения являются управляющими для триодов выходного каскада $T5$ и $T6$. При одной полярности открывается триод $T5$, а $T6$ — закрывается. При обратной полярности триод $T5$ закрывается, а $T6$ — открывается. Триоды нагружены бесконтактным устройством, позволяющим включать или отключать исполнительный механизм. При отработке регулятором сигналов «Больше» или «Меньше» на лицевой части электронного блока загораются соответствующие сигнальные лампы ЛБ или ЛМ.

§ 6. Электронно-гидравлические регуляторы

Электронно-гидравлическая система «Кристалл» широко используется при автоматизации теплотехнических и энергетических установок. По структуре схема «Кристалл» подобна схеме



а)



б)

электронного регулятора РПИБ и позволяет осуществлять ПИ- и П-законы регулирования при постоянной скорости гидравлического исполнительного механизма ГИМ.

Структурная схема регулятора «Кристалл» показана на рис. 172,б.

Первичными датчиками ПД могут являться термометры сопротивления, дифманометры и дифтягомеры, которые включаются с устройством обратной связи ОС на вход бесконтактного транзисторного усилителя У.

Если сигнал датчиков отличается от сигнала задания, установленного задатчиком З, то на выходе уси-

Рис. 172. Регулятор «Кристалл»:

а — общий вид, б — структурная схема

лителя *У* формируется сигнал, который подается на соответствующие обмотки электрогидравлического реле *ЭГР*, осуществляющего управление исполнительным механизмом *ГИМ*.

Основные органы контроля и управления регулятора «Кристалл» (рис. 172,а): потенциометры «Чувствительность» 2, 3, 4 служат для изменения напряжения питания датчиков *ПП*; потенциометр «Нечувствительность» 1 определяет зону нечувствительности регулятора; задатчик, имеющий десять оцифрованных делений, служит для установки задания регулятора; сигнальные табло «Меньше» и «Больше» определяют направление движения *ГИМ*; клеммы *А*, *Б*, *В*, *Г* служат для контроля и настройки характеристик регулятора путем изменения величины сопротивлений, подключаемых на клеммы *Б*, *В* (диапазон действия задатчика) и *В*, *Г* (нуль задатчика); тумблер «Авт.» — «Дист.» является переключателем режимов работы регулятора; кнопки дистанционного управления «Больше», «Меньше» позволяют вручную управлять исполнительным механизмом *ГИМ*.

§ 7. Машины централизованного контроля и регулирования

Комплексная автоматизация производств поставила новые задачи, которые практически невозможно разрешить обычными средствами контроля и регулирования. Основными задачами при комплексной автоматизации являются сбор и обработка информации, централизация контроля и автоматического управления.

Для решения таких технических задач используют новые средства автоматики, называемые машинами централизованного контроля, регистрации, сигнализации и регулирования — *МЦКР*.

Некоторые машины *МЦКР* дополняются вычислительными устройствами для обработки информации и использования результатов вычислений для автоматического управления.

Наиболее распространенными типами отечественных машин *МЦКР* являются «Марс-200», «Зенит-2», «Зенит-3», «Цикл-2».

В зависимости от типов машин в качестве датчиков используют термометры сопротивления, термпары, датчики э. д. с. и напряжения постоянного тока, а также дифференциально-трансформаторные датчики давления, расхода и т. д. При этом количество контролируемых параметров составляет от 56 до 800 единиц.

Основными элементами *МЦКР* являются нормализующие элементы, входные коммутаторы, логические элементы, схемы сравнения, цифровые преобразователи.

Нормализующие элементы согласуют выходные характеристики аналоговых сигналов датчиков с входной характеристикой преобразующего устройства. Обычно нормализующие схемы представляют собой различные мостовые схемы, позволяющие унифицировать и линеаризовать входные сигналы датчиков.

Входные коммутаторы представляют собой обтекающие переключатели, которые используют для подключения датчиков в определенной последовательности к узлам обработки информации

машины. В зависимости от типов машин входные коммутаторы могут выполняться в виде вращающихся электромеханических переключателей, электромагнитных реле и бесконтактных управляемых схем на тиратронах, полупроводниковых приборах и интегральных схемах.

Схемы сравнения применяют как для определения отклонения регулируемого параметра от заданного значения, так и для цифрового преобразования входного аналогового сигнала датчиков. В качестве элементов сравнения аналоговых сигналов датчиков контролируемых параметров с заданным значением уставки задания используют нуль-индикаторы. В МЦКР используют два типа нуль-индикаторов: контактные и бесконтактные. Бесконтактные нуль-индикаторы отличаются от контактных большим быстродействием и надежностью.

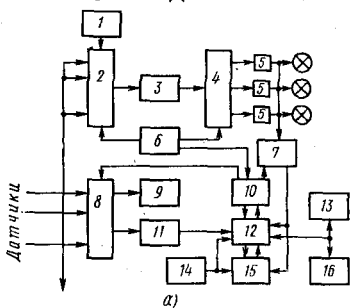
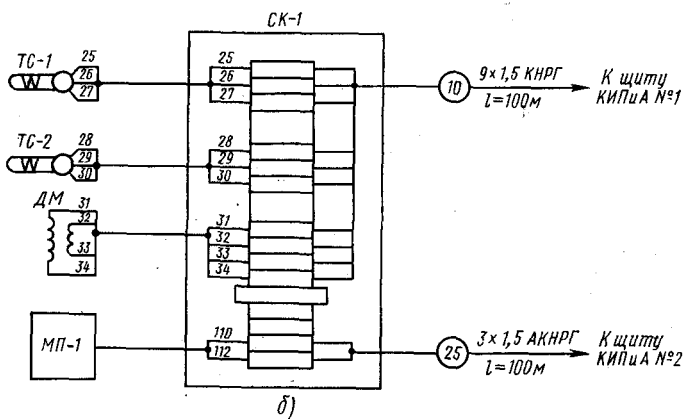


Рис. 173. Цифровой преобразователь:

а — структурная схема машины централизованного контроля «Цикл-2», б — монтажная схема соединения датчиков с соединительной коробкой типа СК-1



Логические элементы в машинах выполняют логические и арифметические операции, связанные с решением задач автоматического регулирования и управления. В зависимости от типа машин логические операции выполняются релейно-контактными схемами и бесконтактными элементами. По своим функциям логические элементы выполняют операции вычитания «НЕ», сложения «ИЛИ» и умножения «И».

Цифровые преобразователи преобразуют аналоговый сигнал датчиков в цифровой код.

В качестве примера рассмотрим структурную схему машины централизованного контроля (МЦКР) «Цикл-2» (рис. 173,а).

Машина предназначена для централизованного контроля сложных непрерывных технологических процессов при большом количестве контролируемых параметров (до 200) и позволяет выполнять следующие функции: сигнализацию и цифровую регистрацию отклонений параметров от заданных значений; цифровое измерение параметров по вызову диспетчера; периодическую (или по вызову) цифровую регистрацию значений параметров и заданных значений; выдачу сигналов в устройства автоматической защиты и регулирования.

Машина работает с датчиками и преобразователями, вырабатывающими выходные сигналы 0—5 мА постоянного тока и датчиками, имеющими выходное напряжение 0—10 В. Машина состоит из блока обнаружения и сигнализации отклонений, блока цифровой регистрации и блока измерений по вызову. Узел обнаружения отклонений 3 производит сравнение выходного сигнала датчиков и сигналов задания панели 1.

При отклонении контролируемого параметра от задания выходной коммутатор 4, работающий синхронно с входным коммутатором 2, посредством распределителя 6 выдает команду на узел памяти сигнализации 5, при этом включается одна из сигнальных ламп и звуковая сигнализация.

Блок цифровой регистрации имеет входной коммутатор 8, панель задания коэффициентов 9, цифровой преобразователь 11, распределитель точек регистрации 10, программный узел управления печатью 12, на выходе которого установлены два печатающих устройства 13, 16.

Цифровое регистрирующее устройство печатает время отклонения параметра, его числовое значение и порядковый номер контролируемого параметра. В схему цифровой регистрации входит счетчик импульсов времени 14 и программное устройство 15, имеющее связь с запоминающим устройством 7.

В цехах и на участках с высокой степенью автоматизации количество импульсных линий и контрольных кабелей, связывающих оборудование со щитами КИПиА, колеблется от нескольких десятков до нескольких сотен, поэтому для удобства эксплуатации и определения неисправностей прибегают к маркировке, т. е. присвоению линии или кабелю определенного порядкового номера. Для нумерации электрических кабелей и проводов применяют целые числа (1, 2, 3, 4, 5 и т. д.), а для нумерации импульсных линий впереди числа пишется ноль (01; 02; 03; 04; 05 и т. д.).

С целью сокращения времени на монтажные работы, экономии кабелей и импульсных линий для соединения группы датчиков со щитом КИПиА используют соединительные коробки, которые устанавливают в непосредственной близости к датчикам.

На рис. 173,б показана монтажная схема соединения датчиков с соединительной коробкой СК-1. Термометры сопротивления ТС-1, ТС-2 и дифманометр-расходомер ДМ через клеммник

(электрические цепи 25—34) кабелем 10 соединяют со щитом КИПиА № 1. Кабель типа КНРГ — контрольный негорючий резиновый гибкий имеет девять жил сечением $1,5 \text{ мм}^2$ ($9 \times 1,5$); длина кабеля, соединяющего коробку СК со щитом КИПиА № 1, равна 100 м ($l=100 \text{ м}$).

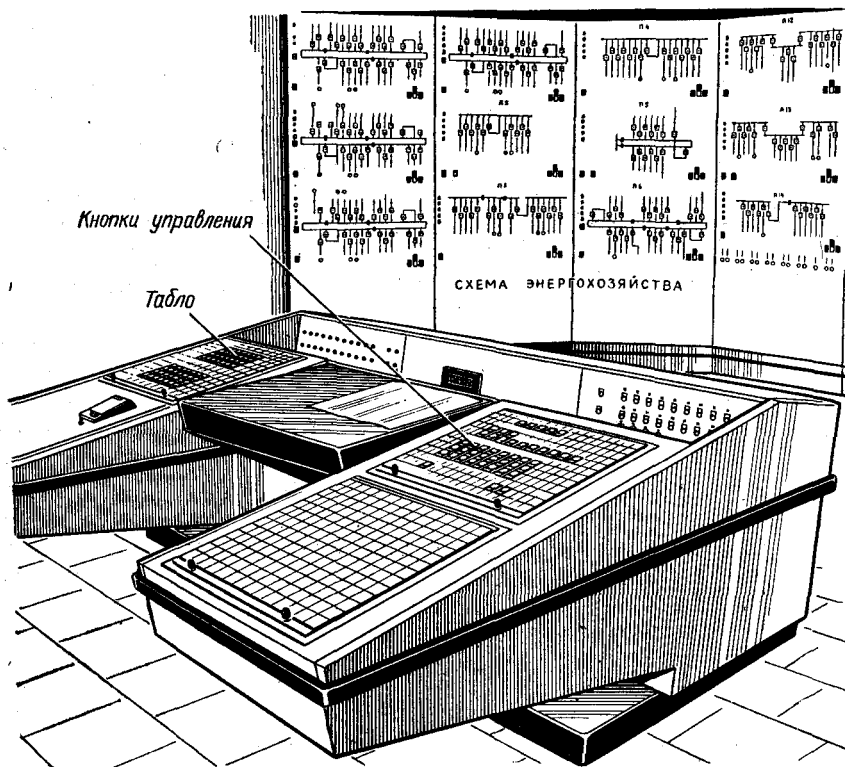


Рис. 174. Общий вид диспетчерского пульта для управления и контроля энергообъекта с использованием системы телемеханики типа ТМ-320 и мозаичного щита

Цепь управления магнитного пускателя МП-1 соединяется со щитом КИПиА № 2 отдельным кабелем 25 типа АКНРГ — алюминиевого, контрольного негорючего резинового гибкого сечением $1,5 \text{ мм}^2$.

Для защиты измерительных линий датчиков от влияния наводок от цепей управления с напряжением 220—380 В эти цепи прокладывают отдельными кабелями. Например, для измерительных цепей используется кабель 10, а для силовых цепей — кабель 25.

На рис. 174 представлен общий вид МЦКР на крупном энергохозяйстве с использованием мозаичного щита, диспетчерского пульта и системы телемеханики типа ТМ-320.

1. Какими элементами устанавливают время изодома и предел пропорциональности в регуляторе типа МТ-711р?
2. На какие клеммы регулятора РПИБ подключаются датчик и задатчик?
3. Перечислите органы управления регулятора «Кристалл».
4. Перечислите основные элементы машин МЦКР.

ГЛАВА X

ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

§ 1. Общая характеристика исполнительных механизмов

Регулирующий орган является элементом регулятора. Он осуществляет изменение степени открытия исполнительного механизма (пневматического или электрического клапана) для поддержания значения регулируемой величины.

Например, если давление контролируемого газа возрастает выше заданного значения, регулятор отрабатывает сигнал, необходимый для приоткрытия регулируемой задвижки; при понижении давления регулятор формирует сигнал для прикрытия задвижки.

Степень изменения положения регулирующего органа исполнительного механизма зависит от разности между истинным значением регулируемой величины и значением задания.

Регулирующие клапаны имеют стандартный ряд внутреннего диаметра (прохода) 6—400 мм.

В зависимости от рабочих параметров — температуры, давления и агрессивности среды клапаны имеют ряд модификаций. Для агрессивных щелочных и кислотных сред клапаны имеют специальную футеровку (покрытие).

Пневматические клапаны выпускают двух типов — НО (нормально открытый) и НЗ (нормально закрытый). В клапанах НО при отсутствии входного давления воздуха проходное сечение полностью открыто, в клапанах НЗ — полностью закрыто. Полный ход регулирующего клапана происходит при изменении командного давления воздуха от 20 до 100 кПа (0,2—1 кгс/см²).

По виду используемой энергии исполнительные механизмы подразделяют на пневматические, гидравлические, электрические и электрогидравлические. По виду движения привода исполнительные механизмы делятся на однооборотные, многооборотные и поступательные (прямоходные).

В пневматических исполнительных механизмах перемещающее усилие возникает вследствие действующего на мембрану, сильфон или поршень давления сжатого воздуха, а противодействующее усилие создается силами упругой деформации пружин или самой рабочей полостью.

В гидравлических механизмах рабочий поршень перемещается за счет сил давления жидкости как в прямом, так и в обратном направлениях без противодействующей пружины. Диа-

пазон рабочих давлений гидравлических исполнительных механизмов составляет 2,5—20 МПа (25—200 кгс/см²).

Электрические исполнительные механизмы подразделяются на электромагнитные и электродвигательные. В электромагнитных механизмах обеспечивается незначительный ход выходного элемента в пределах 10—15 мм, поэтому такие механизмы имеют ограниченное применение.

§ 2. Пневматические механизмы

Мембранный пневматический исполнительный механизм является наиболее распространенным типом механизма, используемого при регулировании расхода, температуры, давления, уровня и т. п.

На рис. 175,а показана рабочая полость мембранного исполнительного механизма. Между верхней и нижней крышками 1 и 4 герметично установлена эластичная резиноканевая мембрана 2. Шток 5 исполнительного механизма связан через опорный диск 3 с центральной частью мембраны. При поступлении давления сжатого воздуха $P_{вх}$ мембрана начинает деформироваться и перемещать шток 5, при этом шток перемещается пропорционально входному давлению $P_{вх}$.

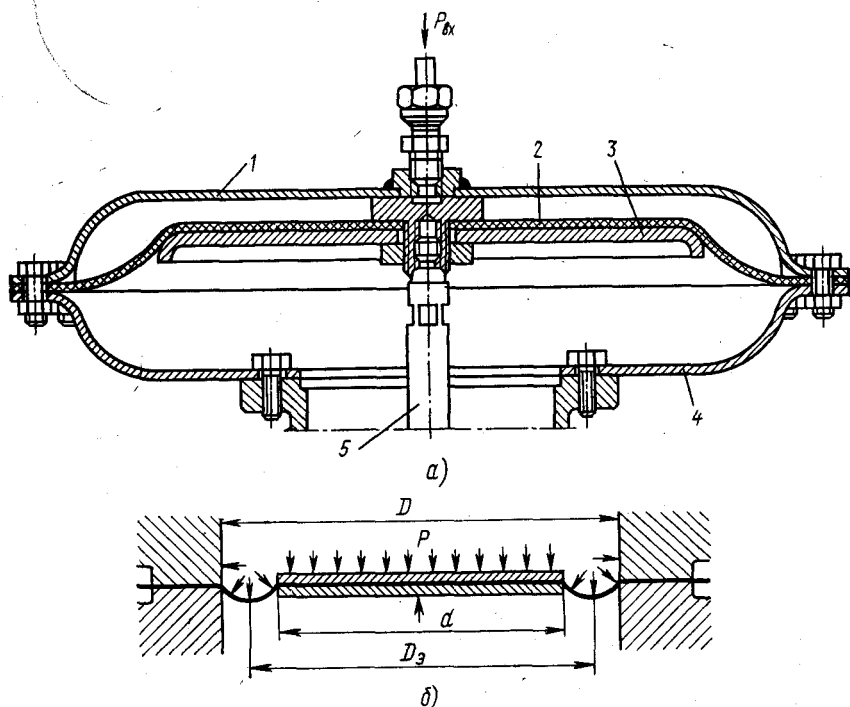


Рис. 175. Мембранный исполнительный механизм:
а — рабочая полость, б — схема сил, действующих на мембрану

На рис. 175,б показана схема действия сил на мембрану 2. Сила давления воздуха на мембрану определяется произведением давления $P_{вх}$ только на эффективную площадь мембраны: $F = P_{вх} S_э = P_{вх} \pi D_э^2 / 4$, где F — сила давления сжатого воздуха, $D_э$ — эффективный диаметр мембраны.

Практически условный ход механизма (штока) H_y определяется из соотношения: $H_y = (0,1 \div 0,2) D$, где D — установочный диаметр мембраны.

Основными характеристиками регулирующего органа, влияющими на качество процесса регулирования, являются диаметр условного прохода D_y , конструктивная и расходная характеристики.

Конструктивная характеристика есть зависимость изменения относительного проходного сечения регулирующего органа от степени его открытия.

Расходная характеристика есть изменение относительного расхода регулируемой среды через регулирующий орган от степени его открытия.

Регулирующие органы подразделяются на два типа — с линейной и нелинейной расходными характеристиками.

Приближенный расчет пропускной способности регулирующих органов может быть определен по следующим формулам:

для жидкостей, паров и газов при $P > 10 \Delta P$

$$G = 50,4 \cdot F \cdot \alpha \sqrt{\Delta P \gamma};$$

для паров и газов при $P < 10 \Delta P$

$$G = 159,36 \alpha \cdot \varepsilon \sqrt{\Delta P \gamma},$$

где G — массовый расход жидкости или газа, F — проходное сечение клапана (см^2), α — коэффициент степени открытия клапана, ΔP — перепад давления на клапане (Па), γ — плотность среды.

Для поворотных заслонок расходная характеристика представляет собой отношение расхода жидкости или газа к степени открытия заслонки. Обычно сечение заслонки выбирается с тем условием, чтобы при номинальном расходе открытие заслонки составляло 20—45%. При большем открытии образуется «мертвый ход» заслонки, т. е. приращение расхода при дальнейшем открытии не наблюдается.

Регулирующие органы пневматических исполнительных механизмов по своей конструкции могут быть одно- и двухседельчатыми.

Односедельчатые регулирующие органы (рис. 176) имеют одностороннее действие статического давления среды, которое выражается в явлениях «затягивания» седла или, наоборот, его «отжатия» при изменении направления движения среды через орган. В связи с этим недостатком односедельчатые регулирующие органы применяют с исполнительными механизмами большой мощности.

При изменении давления сжатого воздуха в рабочей полости

исполнительного механизма шток 9 перемещает односедельчатый пробковый затвор 7 относительно седла 6, тем самым изменяя проходное сечение органа.

Двухседельчатый регулирующий орган свободен от указанного выше недостатка за счет разгрузки затвора от одностороннего действия силы, создаваемой статическим давлением среды. При такой конструкции органа среда протекает одновременно в про-

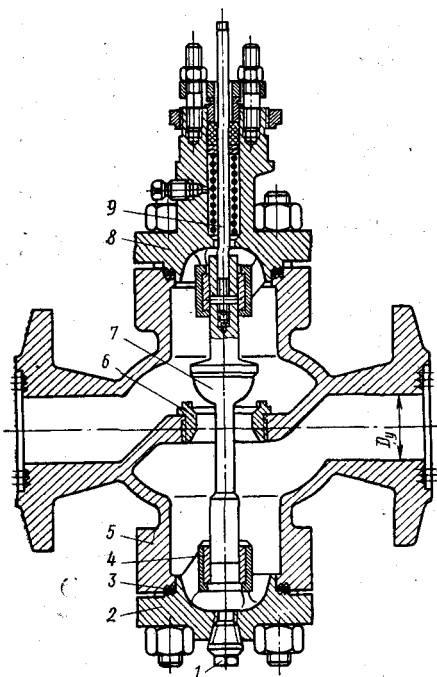


Рис. 176. Односедельчатый регулирующий орган:

1 — пробка, 2, 8 — крышки, 3 — прокладка, 4 — втулка, 5 — корпус, 6 — седло, 7 — односедельчатый затвор, 9 — шток

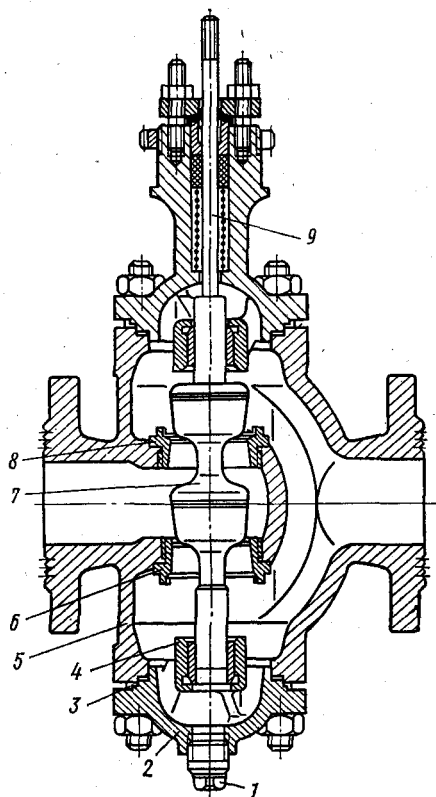


Рис. 177. Двухседельчатый регулирующий орган:

1 — пробка, 2 — крышка, 3 — прокладка, 4 — втулка, 5 — корпус, 6, 8 — седло, 7 — двухседельчатый затвор, 9 — шток

типоволожных направлениях, в результате чего регулирующий орган (клапан) оказывается разгруженным, а перемещающее усилие становится независимым от перепада давления и диаметра проходного отверстия.

Двухседельчатый орган (рис. 177) имеет два седла 6, 8 и двухседельчатый пробковый затвор 7 с запирающими поверхностями. При перемещении штока 9 изменяется положение двухседельчатого пробкового затвора 7 относительно седел 6 и 8, чем

обеспечивается изменение расходной характеристики регулирующего органа.

Мембранные механизмы типа МИМ имеют модификацию МИМ-200, МИМ-250, МИМ-400, МИМ-500. Рабочее давление 0,25—0,4 МПа (2,5—4 кгс/см²).

§ 3. Электрические исполнительные механизмы

Однооборотные электрические исполнительные механизмы состоят из электродвигателя и силового редуктора соединенного с регулирующим органом.

По построению схемы управления различают механизмы с контактным управлением — с помощью магнитного пускателя и бесконтактным — с помощью магнитного усилителя.

Наиболее распространенными типами электрических механизмов являются ПР, ДР, ИМ, МЭО, МЭК, КДУ. Механизмы ДР и ПР используются при малых механических усилиях для управления рабочими органами. Механизмы МЭО и МЭК имеют большой вращающий момент и применяются в силовых передачах.

Колонка дистанционного управления КДУ используется в качестве исполнительного механизма (рис. 178) в системах автоматического регулирования.

Колонка КДУ представляет собой устройство, состоящее из электродвигателя 1 и червячного редуктора, вращательное движение которого через рычажную систему передается на регулирующий орган. Максимальный угол поворота вала составляет 90°.

Электрическая схема КДУ (рис. 179,б) имеет конечные выключатели КВБ и КВМ, которые разрывают цепь управления двигателя при открытии или закрытии регулирующего органа, предотвращая поломки кинематических звеньев. Реостатный датчик 2 (R2) используется для подключения дистанционного указателя положения (ДУП) на пульте или щите. С помощью потенциометра 1 (R1) обеспечивается настройка показаний ДУП в соответствии с положением регулирующего органа.

Напряжение 220 В подается на клеммы 3—4 для питания трансформатора, вторичная обмотка которого нагружена двухполупериодным выпрямителем, питающим разистор R2. К клеммам 5—6, подключается ДУП. Клеммы 1—10—11 «Больше» и клеммы 2—12—13 «Меньше» используются в цепях управления и сигнализации.

Исполнительные механизмы ДР-М, ДР-1М, ПР-М и ПР-1М предназначены для приведения в действие клапанов задвижек и

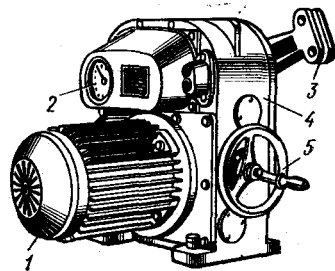


Рис. 178. Электрический исполнительный механизм типа КДУ:

1 — электродвигатель, 2 — указатель положения, 3 — приводная кулиса, 4 — корпус редуктора, 5 — ручной привод

других аналогичных им устройств, применяемых в автоматических регулирующих установках и в установках ручного дистанционного управления.

Исполнительные механизмы типов ДР-М, ДР-1М применяют в двухпозиционных системах регулирования, а механизмы типов ПР-М, ПР-1М — в пропорциональных системах регулирования.

Двухпозиционное регулирование заключается в том, что моторная часть механизма, получая импульс от датчика, открывает или закрывает управляющий клапан на определенную величину, независимо от величины изменения контролируемого параметра.

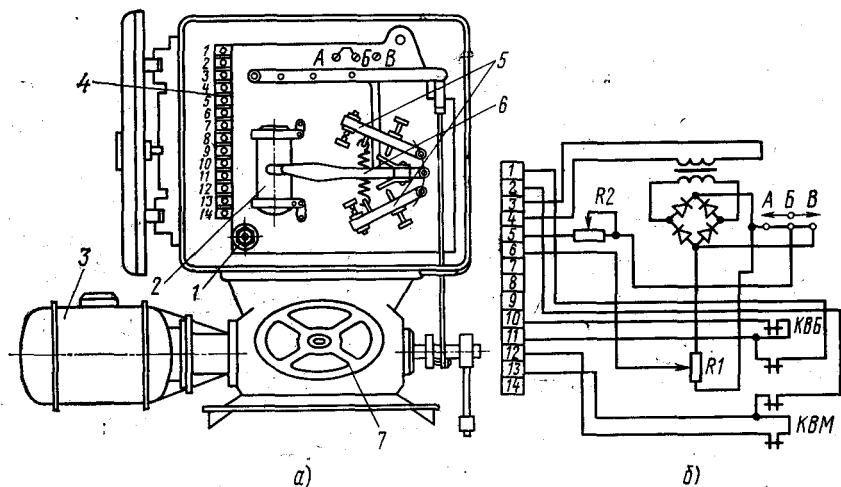


Рис. 179. Колонка дистанционного управления КДУ:

а — общий вид: 1 — подстроечный потенциометр, 2 — реостатный датчик, 3 — электродвигатель, 4 — клеммник, 5 — ограничители «Больше», «Меньше», 6 — подвижный контакт потенциометра, 7 — маховик ручного привода; б — электрическая схема: КБВ — конечный выключатель «Больше», KBM — конечный выключатель «Меньше», R1 и R2 — установочные резисторы

При пропорциональном регулировании исполнительный механизм строго пропорционально следует за воспринятыми чувствительными приборами (датчиками) изменениями контролируемого параметра.

Механизмы ДР-М и ДР-1М вступают в работу по получении импульса от датчика, после чего ведут отработку самостоятельно и после открытия или закрытия клапана автоматически останавливаются. Управление работой электродвигателя механизма проводится двухпозиционным предельным выключателем.

Открытие и закрытие клапана с помощью механизмов ДР-М, ДР-1М производится только в два крайних положения: «Открыт», «Закрыт».

Исполнительные механизмы типов ДР-М, ПР-М предназначены для управления как поворотными клапанами (от диска), так и поступательными (от штока).

Конструкция исполнительного механизма ДР-М приведена на рис. 180.

Механизм состоит из следующих основных частей: электродвигателя 2, редуктора 1 и предельного выключателя 5, заключенных в общий корпус 6. Корпус 6 представляет собой литую из алюминиевого сплава коробку, с внутренней стороны разделенную перегородкой на две камеры.

В передней части корпуса размещены редуктор, в задней — электродвигатель и предельный выключатель.

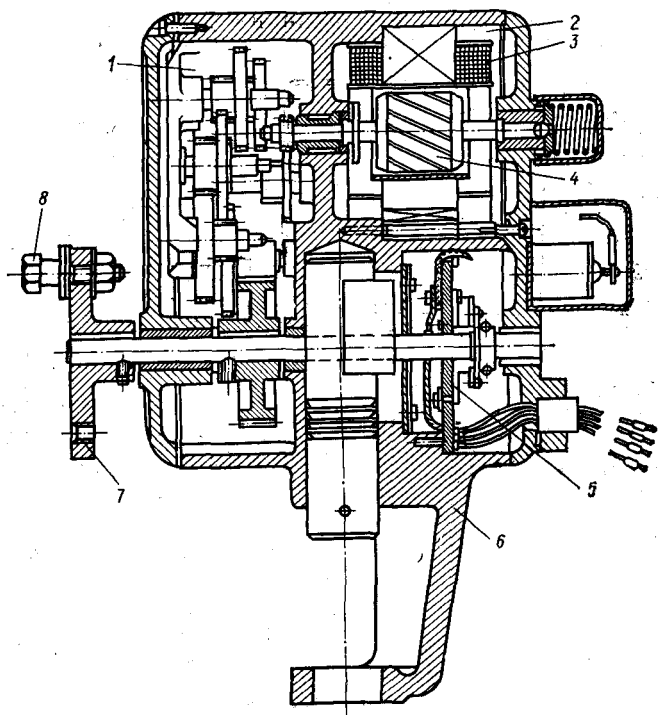


Рис. 180. Исполнительный механизм типа ДР-М.

В исполнительных механизмах типа ДР-М, ДР-1М, ПР-М и ПР-1М применен однофазный реверсивный конденсаторный электродвигатель, работающий от сети переменного тока напряжением 220 В. Потребляемая мощность 50 Вт с частотой вращения 3000 об/мин.

Электродвигатель состоит из короткозамкнутого ротора 4 типа «беличье колесо» и статора 3. Ось ротора опирается на скользящие подшипники, залитые баббитом. Передний подшипник запрессован в перегородку корпуса, задний — в заднюю крышку корпуса. Статор запрессован в гнездо корпуса и дополнительно закреплен специальными винтами.

На переднем конце главного валика устанавливают диск 7 с пальцем 8, служащим для передачи углового движения на поворотный клапан.

§ 4. Электромеханические реле

Реле являются наиболее распространенными элементами автоматики, которые широко используются во всех отраслях промышленности при автоматизации технологических процессов производства.

По принципу действия реле подразделяют на следующие типы: электромагнитные; электромагнитные пневматические; поляризованные; электронные.

Основными характеристиками реле являются: количество контактных групп; мощность обмотки реле; мощность контактных групп; время срабатывания и отпускания реле (т. е. время с момента подачи управляющего напряжения до начала переброса контактов реле).

Мощность контактных групп реле определяется максимально допустимой электрической мощностью, которую способны выдерживать контактные группы реле.

В зависимости от типов реле количество контактных групп составляет до 20 пар, разрывная мощность контактов 0,001—1000 Вт; время срабатывания 1—500 мс.

Время срабатывания различных типов реле времени колеблется от 10 мс до нескольких часов. Характеристики основных типов реле приведены в табл. 17.

Реле является элементом автоматики, в котором при определенном значении входной величины (напряжения) выходная величина изменяется скачкообразно. Например, если на обмотку 2 реле (рис. 181, а) подать управляющее напряжение, то под действием электромагнитной силы якорь 5 притянется к сердечнику 1 и исполнительные контакты реле изменят свое положение: верхние разомкнутся, а нижние — замкнутся.

Если управляющее напряжение с обмотки отключить, то под действием противодействующей пружины 4 якорь и контакты реле возвращаются в исходное положение: верхние — замыкаются, нижние — размыкаются. Таким образом, в зависимости от управляющего напряжения положение контактов реле изменяется скачкообразно.

Для электромагнитных реле постоянного тока в качестве магнитопроводов и сердечников применяется мягкая электротехническая сталь, т. е. материал с большой магнитной проницаемостью. Тяговой характеристикой реле является электромеханическая характеристика реле $F=f(\delta)$, где F — сила протяжения якоря, δ — величина воздушного зазора между якорем и сердечником. На рис. 181, б представлена электромеханическая характеристика реле,

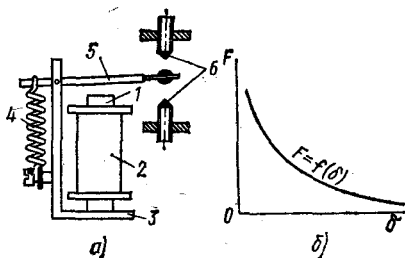


Рис. 181. Электромагнитное реле:

а — конструкция, б — электромеханическая характеристика; 1 — сердечник, 2 — обмотка, 3 — магнитопровод, 4 — пружина, 5 — якорь, 6 — контакты

из которой следует, что чем меньше воздушный зазор δ , тем больше сила притяжения якоря F к сердечнику реле.

В зависимости от мощности контактных групп контакты изготавливают из золота, серебра, платины, вольфрама и т. д. Эти материалы обладают высокой температурой плавления, механической прочностью, электропроводностью и малой окисляемостью.

Наиболее распространенным материалом для контактных групп средней мощности является серебро; контакты большой мощности изготавливают из вольфрама. Для плавности хода контактных групп и надежности их электрических контактов они укрепляются на упругих плоских пластинах или пружинах.

Для уменьшения искрообразования на контактах реле применяют искрогасящие цепи, состоящие из емкости и сопротивления, которые включаются параллельно контактам реле. На рис. 182 показаны схемы искрогасящих цепей контактов реле. При размыкании контактов реле емкость C заряжается или разряжается через сопротивление R , тем самым уменьшая напряжение между управляющими контактами реле P .

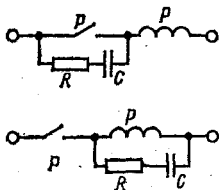


Рис. 182. Схемы искрогасящих цепей контактов реле

Электромагнитное реле переменного тока по принципу действия аналогично реле постоянного тока. Однако ярмо, якорь и сердечник изготавливают только из листовой электротехнической стали, с тем чтобы за счет конструкции уменьшить вихревые токи и потери на гистерезис (перемагничивание стали). Характерной особенностью реле напряжения переменного тока является независимость электромеханической характеристики реле от величины воздушного зазора, т. е. $F=f(\delta)=\text{const}$. Существенным недостатком реле данного типа является вибрация якоря и искрение контактов с двойной частотой изменения силы притяжения F . Это объясняется тем, что при переменном токе сила притяжения F меняется по синусоидальному закону: $F=F_w \times \sin^2 \omega t$, где F_w — амплитуда силы притяжения, ωt — угловая частота ($\omega t=2\pi ft$), f — частота переменного тока.

Для борьбы с явлением вибрации якоря применяется такая конструкция реле переменного тока (рис. 183), при которой полюсный наконечник 6 раздвоен и на нем устанавливается короткозамкнутый медный виток 5. Под действием напряжения катушки часть магнитного потока наводит э. д. с. в медном короткозамкнутом витке, которая создает в нем ток и свой магнитный поток. Этот магнитный поток, взаимодействуя с основным магнитным потоком катушки, удерживает якорь притянутым, не допуская вибрации якоря и искрения контактов.

Поляризованное реле типа РП (рис. 184) является реле постоянного тока с поворотным якорем, однако отличается от электромагнитного реле наличием постоянного магнита вместо ярма, что существенно повышает чувствительность, а также позволяет изменять направление срабатывания реле в зависимости от полярности приложенного к обмотке напряжения.

Магнитный поток постоянного магнита Φ_0 , проходя по якорю, разделяется на два потока Φ_1 и Φ_2 . Если напряжение в катушках отсутствует, то якорь устанавливается в среднее (нейтральное) положение, потоки Φ_1 и Φ_2 равны по величине и противоположны по направлению. Если полярность приложенного напряжения к одной из катушек 2, 4 такова, что создается магнитный поток Φ_3 , совпадающий по направлению с потоком Φ_2 , то эти потоки складываются, сила притяжения, действующая на якорь, увеличивается и якорь притягивается вправо. При измене-

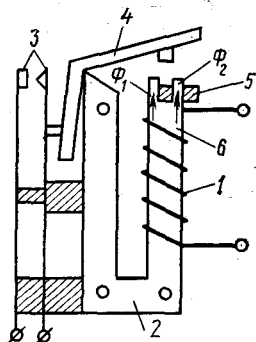


Рис. 183. Реле переменного тока:

1 — обмотка, 2 — магнитопровод, 3 — контакты, 4 — якорь, 5 — короткозамкнутый медный виток, 6 — полюсный наконечник

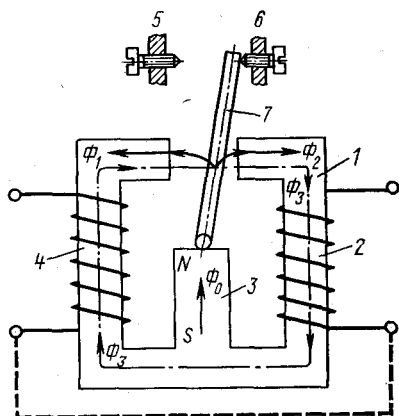


Рис. 184. Поляризованное реле:

1 — магнитопровод, 2, 4 — катушки, 5, 6 — контакты, 3 — постоянный магнит, 7 — якорь

нии полярности питающего напряжения якорь будет притягиваться в противоположную сторону.

Технические характеристики реле типов РП приведены в табл. 18.

Реле времени служат для создания выдержки времени в цепях автоматического регулирования, управления и сигнализации. Интервал времени от момента подачи напряжения на обмотку реле до момента изменения положения его контактов называется выдержкой времени.

Реле времени по конструкции делятся на электромеханические, электропневматические, программные, электронные.

В электромеханическом реле времени ЭВ-132 (рис. 185) при подаче напряжения на обмотку 7, якорь 5 практически мгновенно втягивается и поводком 1 переключает контакты 2, 3, 24 и освобождает палец зубчатого сектора устройства выдержки времени, выполненного в виде часового механизма. Основными элементами часового механизма являются анкерное зубчатое колесо 9 с анкерной скобой 20 и противовесами 21.

Выдержка времени устанавливается перемещением контакта 16 относительно шкалы 15. Часовой механизм приводится в дви-

жение ведущей пружины 14, усилие которой передается через трибку 10 на часовой механизм. Анкерное колесо 9, взаимодействуя с анкерной скобой, ступенчато прерывисто производит отсчет времени, при этом подвижный контакт 17 перемещается к контакту 16, а по истечении выбранной выдержки времени контакты 16, 17 замыкаются.

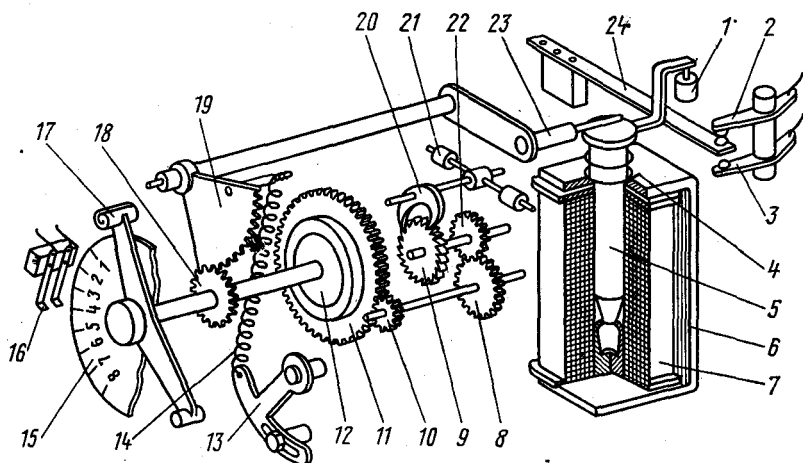


Рис. 185. Реле времени ЭВ-132:

1 — поводок, 2, 3, 16, 17, 24 — контакты, 4 — возвратная катушка, 5 — якорь, 6 — магнитопровод, 7 — обмотка, 8, 18, 22 — зубчатые колеса, 9 — анкерное колесо, 10 — трибка, 11 — ведущее колесо, 12 — сцепление, 13 — скоба, 14 — ведущая пружина, 15 — шкала, 19 — сектор, 20 — анкерная скоба, 21 — противовес, 23 — палец

Программные реле времени Е-52 и ВС-10 (рис. 186) представляют собой электромеханическое устройство с приводом от синхронного электродвигателя 1. Вращение двигателя передается кинематическому узлу, состоящему из редуктора 2 и системы шестеренок. Трибка 13 вращает с помощью шестерни 12 одновременно все диски 9 со шкалой. Через установленные интервалы времени упор 8 шкалы переключает электрические контакты реле. В зависимости от модификации реле может иметь от трех до шести барабанов выдержек времени и такое же количество независимых контактных групп.

Установка времени срабатывания контактных групп производится перемещением барабанов выдержки времени при отпущенном положении зажимной гайки 11. При отключении напряжения

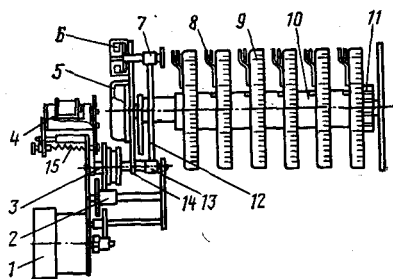


Рис. 186. Кинематическая схема программного реле ВС-10:

1 — электродвигатель, 2 — редуктор, 3 — сцепление, 4 — электромагнит, 5 — возвратная пружина, 6 — тормоз, 7 — трибка, 8 — упор, 9 — диски со шкалой, 10 — втулка, 11 — зажимная гайка, 12 — шестерня, 13 — трибка, 14 — диск сцепления, 15 — пружина

с электродвигателя диски 9 под действием возвратной пружины 15 возвращаются в исходное положение.

§ 5. Логические элементы

Использование полупроводниковых, гибридных и интегральных элементов позволило широко применять интегральные логические схемы в автоматическом регулировании, контроле и сигнализации. При этом повышается надежность, уменьшаются габариты устройств, снижается стоимость элементов и их потребляемая мощность.

Логический элемент — это устройство, позволяющее реализовать элементарную логическую операцию с помощью дискретных элементов.

Дискретные элементы могут находиться в одном из двух состояний: «Включено» или «Выключено».

Все операции решаются логическими элементами с помощью алгебры логики. Алгебра логики обозначает включенное состояние дискретного элемента символом «1», а отключенное состояние — символом «0».

В развитии интегральных логических элементов, заменивших реле в сложных автоматических схемах, можно выделить три этапа. Первый этап характеризуется разработкой серий интегральных логических схем ИС, выполняющих ряд элементарных логических операций: НЕ — ИЛИ, НЕ — И, И — ИЛИ — НЕ и т. д. При этом число логических схем в одном корпусе составляло 1—6 элементов, число выводов схемы от 8 до 14.

Второй этап характеризуется увеличением (интеграцией) элементов схемы, при этом число интегральных логических схем в одном корпусе достигает 8—50 элементов. На третьем этапе — этапе развития больших интегральных схем (БИС) в одном корпусе размещается от 50 до 500 логических элементов.

Рассмотрим построение логических схем на электромеханических реле, полупроводниковых диодах и триодах.

Логическая схема НЕ характеризуется наличием сигнала на выходе схемы при отсутствии сигнала на ее входе или, наоборот, отсутствием сигнала на выходе схемы при наличии сигнала на входе схемы.

На рис. 187 показаны принципиальные логические схемы НЕ. В схеме (рис. 187, а) на реле P при отсутствии сигналов на входе (обмотке) на выходе появляется сигнал, равный источнику э. д. с., так как контакт реле P замкнут. Если

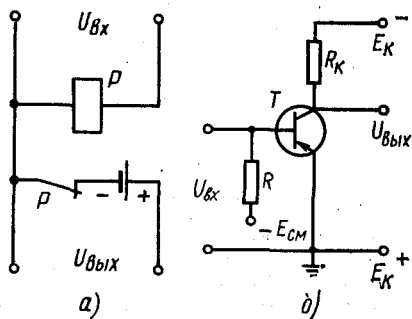


Рис. 187. Логическая схема НЕ:
а — на электромагнитном реле, б — на триоде

появляется сигнал на входе, то реле P срабатывает, разрывает свой контакт и напряжение на выходе схемы отсутствует.

В схеме (рис. 187,б), если на входе полупроводникового триода T сигнал отсутствует, триод открыт напряжением смещения $E_{см}$, поэтому напряжение на выходе практически отсутствует.

Если на вход триода подать сигнал положительной полярности, то триод запирается и на выходе появляется напряжение, равное источнику питания E_k .

Логическая схема ИЛИ (рис. 188) характеризуется наличием выходного сигнала при появлении входного сигнала на любом из исполнительных элементов схемы.

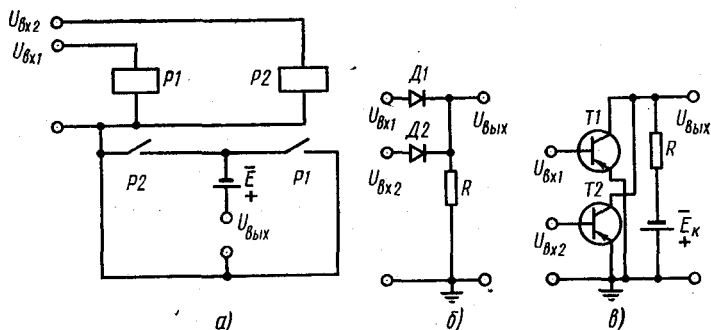


Рис. 188. Логическая схема ИЛИ:

а — на электромеханическом реле, б — на диодах, в — на триодах

Схема (рис. 188,а) собрана из двух реле. Входные сигналы поступают из обмотки реле $P1$ и $P2$, а выходной сигнал схемы снимается с их контактов. Если на вход одного реле $P1$, $P2$ или на два реле одновременно поступает сигнал, то реле срабатывают, замыкают свои контакты и на выходе схемы появляется сигнал, равный напряжению E .

В схеме (рис. 188,б) используют полупроводниковые диоды $D1$ и $D2$. Если на вход одного или двух диодов будет подан положительный сигнал, то за счет открытия диодов $D1$, $D2$ или одновременно $D1$ и $D2$ на выходе схемы появляется положительное напряжение.

В схеме (рис. 188,в) используют полупроводниковые триоды $T1$ и $T2$. Если на один из входов или одновременно на два входа триодов $T1$ и $T2$ будет подан сигнал отрицательной полярности, то триоды открываются и на выходе схемы уменьшается напряжение отрицательной полярности.

Логическая схема И (рис. 189) характеризуется наличием выходного сигнала только при одновременном появлении входных сигналов на всех исполнительных элементах схемы. В схеме (рис. 189,а) используют реле $P1$ и $P2$, разомкнутые контакты которых соединены последовательно. Поэтому напряжение на выходе схемы может появиться только при одновременном срабатывании обоих реле, когда их контакты замкнут выходную цепь.

В схеме (рис. 189,б), если сигналы на входе диодов отсутствуют, через диоды $D1$ и $D2$ протекает ток в прямом направлении и на выходе схемы появляется незначительное напряжение, так как сопротивление R значительно больше сопротивления открытых диодов. Если на вход диодов $D1$ и $D2$ подать положительные сигналы, равные напряжению E_6 , то диоды $D1$ и $D2$ закрываются и на выходе схемы появляется сигнал, равный напряжению E_6 .

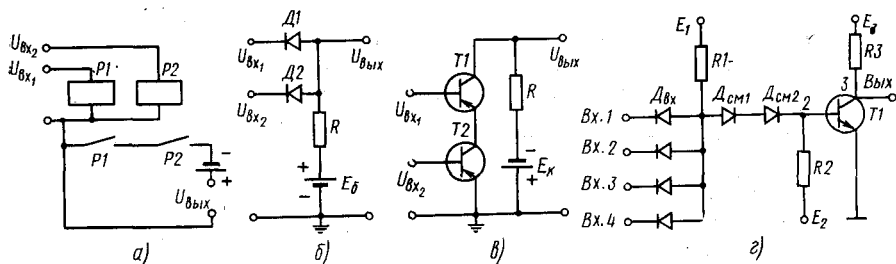


Рис. 189. Логическая схема И:

а — на электромагнитных реле, б — на диодах, в — на триодах, г — логическая диодно-транзисторная схема на четыре входа

Если на входы 1 и 2 (базы триодов $T1$ и $T2$) одновременно подать отрицательные импульсы, то триоды открываются и на выходе схемы появится напряжение (рис. 189,в).

Если на базу одного триода подать отрицательный импульс, то напряжение на выходе схемы станет равным нулю, так как на сопротивлении R создается большое падение напряжения.

Преимуществом интегральных и транзисторных логических схем является большой коэффициент разветвления входов схемы.

В настоящее время выпускают логические элементы типа ЭТ («Логика»), ЭЛМ-50, ЭЛМ-400, которые широко используют в системах автоматического управления. Логические элементы имеют, как правило, ограниченную мощность, поэтому для увеличения нагрузочной способности логических элементов применяются выходные усилители типов ВУП, ВУМ.

Блоки питания для логических элементов представляют собой выпрямитель, источник отрицательного напряжения и источник смещения, подаваемого на базы полупроводниковых триодов.

Сигналы, поступающие на логические элементы, должны иметь строго определенные величины напряжений — уровни напряжений 0 и 1.

Для логических и функциональных элементов «Логика — Т» приняты следующие значения этих напряжений: сигнал логического нуля $I_0 = 0 \div 1$ В; сигнал логической единицы $I_1 = 4 \div 12$ В.

В «Логике — Т» имеется определенный набор элементов, отличающихся друг от друга по функциональным признакам, нагрузочным способностям и т. д. Так, для реализации логического сложения используют элементы Т-106, имеющие восемь входов; для реализации функций И используют элементы Т-107.

Универсальный модуль Т-101 включает в себя два независимых логических элемента ИЛИ — НЕ.

Для правильной и согласованной работы логических элементов большое значение имеет величина входного и выходного сопротивления элемента. Например, при единичной параллельной нагрузке элемента Т-101 величина входного сопротивления составляет $R_{вх}=1,3$ кОм, а выходного сопротивления — $R_{вых}=820$ Ом.

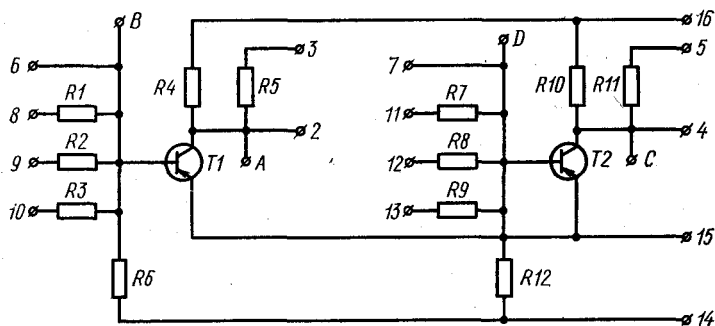


Рис. 190. Схема логического типа ЭТ-ЛО1

При увеличении нагрузки на выход элемента Т-101 соответственно увеличивается коллекторный ток транзистора. При увеличении тока свыше допустимого предела происходит нарушение правильной работы элемента и пробой транзистора.

Универсальный модуль ЭТ-ЛО1 (рис. 190) имеет два независимых элемента ИЛИ — НЕ на три входа каждая (8—9—10 и 11—12—13). Операция ИЛИ производится на резисторах $R1—R2—R3$ или $R7—R8—R9$; операция НЕ — на транзисторах $T1$ или $T2$.

Если на входах 8—9—10 отсутствует сигнал отрицательной полярности, то транзистор $T1$ закрыт и на выходе транзистора (вывод 2) появляется сигнал логической «1».

При подаче на один из входов 8—9—10 (или на все одновременно) сигнала «1» транзистор $T1$ открывается и на его выходе (вывод 2) — появляется сигнал «0».

Как элемент памяти для длительного запоминания сигнала в устройствах автоматики используется маломощный триггер — элемент Т-102 (рис. 191). Триггер имеет два транзисторных ключа — транзисторы $T1$, $T2$ и две потенциально-импульсные ячейки;

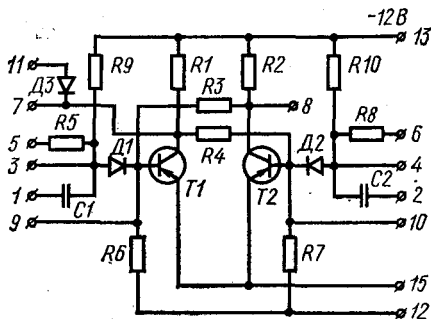


Рис. 191. Схема триггера типа Т-102

на входе транзистора $T1$ — $R9$, $R5$, $C1$, $D1$, на входе транзистора $T2$ — $R10$, $R8$, $C2$, $D2$.

При подаче на вход ячейки отрицательного импульса — логической «1» — транзистор $T1$ открывается и на его выходе 7 появляется нулевой потенциал, т. е. логический «0».

Через обратную положительную связь $R4$ и резистор $R7$ на базу транзистора $T2$ поступает небольшой положительный потенциал, при котором транзистор закрывается. При этом на базу транзистора $T1$ поступает высокий отрицательный потенциал коллектора транзистора $T2$ (через резисторы $R3$, $R6$), вследствие чего транзистор $T1$ закрывается.

Данная схема позволяет сохранять высокую устойчивость триггера от сигналов помех, а также при прекращении подачи сигнала на вход триггера.

Монтаж логических бесконтактных элементов, выполненных в виде модулей, выполняется гибким многожильным проводом сечением 0,12—0,5 мм². Для повышения помехозащищенности слаботочные цепи управления, входы и выходы логических ячеек отделяются от входных силовых цепей.

После монтажа элементов логики типов Т-303, Т-304 токоведущие части необходимо покрывать защитным лаком для повышения стабильности выходных характеристик элементов в условиях повышенной влажности.

Цепи отдельных резисторов и конденсаторов для снижения влияния наводок от внешних электромагнитных полей должны выполняться экранированным коротким проводом.

Предварительная проверка работоспособности логических элементов проверяется без включения питающего напряжения с помощью омметра. Величина сопротивления изоляции цепей переменного и постоянного тока напряжением 220 В проверяется мегомметром на 1000 В и должна составлять не менее 20 МОм.

Опробование функциональных блоков системы производится при включенном блоке питания; при этом приборами с большим входным сопротивлением проверяется напряжение на элементах блока и соответствие входных и выходных сигналов.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные типы исполнительных механизмов по виду используемой энергии.
2. Какое преимущество имеет двухседельчатый регулирующий орган перед односедельчатым?
3. Поясните назначение основных элементов механизма типа КДУ.
4. На какие клеммы колонки дистанционного управления (КДУ) подключается сигнализация «Больше», «Меньше» и дистанционный указатель положения ДУП?
5. Поясните принцип действия программного реле времени типа ВС-10.
6. Перечислите, какие операции реализуются логическими элементами?

РЕМОНТ ПРИБОРОВ И ЭЛЕМЕНТОВ АВТОМАТИКИ

§ 1. Структура участка ремонта КИПиА

В зависимости от оснащенности предприятий средствами автоматического контроля и регулирования участок ремонта КИПиА может относиться как к цеху КИПиА, так и к отделу метрологии предприятия.

Руководство ремонтным участком КИПиА осуществляет начальник участка (или старший мастер). Штатное расписание участка зависит от объема выполняемых работ и номенклатуры эксплуатируемых средств изменения и контроля. На больших предприятиях при широкой номенклатуре средств КИПиА в состав ремонтного участка входит ряд специализированных подразделений ремонта: приборов давления, расхода и уровня; приборов измерения температуры; аналитических приборов; приборов измерения физико-химических параметров; автоматических регуляторов.

Основными задачами участка ремонта является ремонт средств КИПиА, их периодическая поверка, аттестация и представление приборов и мер в установленные сроки органам государственной поверки.

В зависимости от объема ремонтных работ различают следующие виды ремонтов: текущий, средний и капитальный.

Текущий ремонт средств КИПиА производит эксплуатационный персонал КИПиА.

Средний ремонт предусматривает частичную или полную разборку и настройку измерительной, регулирующей или других систем приборов, замену деталей, чистку контактных поверхностей, деталей или узлов.

Капитальный ремонт предусматривает полную разборку прибора (регулятора) с заменой деталей и узлов, пришедших в негодность, градуировку, изготовление новых шкал и опробование прибора после ремонта на испытательных стендах.

После среднего и капитального ремонта прибор должен пройти ведомственную или государственную поверку.

Поверка прибора — определение соответствия прибора всем техническим требованиям, предъявляемым к прибору. Методы поверки приборов определяются заводскими техническими условиями, инструкциями и методическими указаниями Государственного комитета стандартов при Совете Министров СССР.

Сроки периодической поверки приборов определяются действующими стандартами (табл. 19).

Государственная поверка приборов осуществляется метрологической службой Государственного комитета стандартов при Совете Министров СССР. Кроме того, предприятия, производящие эксплуатацию и ремонт средств контроля, измерений и автоматики, могут иметь право проведения отдельных видов поверочных работ. При этом предприятиям, имеющим право на проведение

поверок, органы Государственной метрологической службы ГК стандартов при СМ СССР выдают специальное клеймо.

После удовлетворительных результатов поверки на лицевую часть прибора наносят оттиск поверительного клейма.

Кроме очередной поверки приборов существует внеочередная поверка, связанная с повторной необходимостью поверки исправности прибора, повреждением поверительного клейма, вводом прибора в эксплуатацию и т. д.

Поверка приборов после ремонта производится квалифицированным персоналом — метрологами.

§ 2: Ремонт автоматических весов и дозаторов

Правила эксплуатации циферблатных весов. 1. При эксплуатации весов промежуточный механизм должен находиться в строго вертикальном положении. Для контроля вертикального положения промежуточный механизм имеет специальный уровень (рис. 192), который вмонтирован в циферблатный указатель. Механизм считается установленным правильно, если пузырек уровня находится внутри малой окружности. Если пузырек смещен, необходимо произвести выверку положения промежуточного механизма на раме.

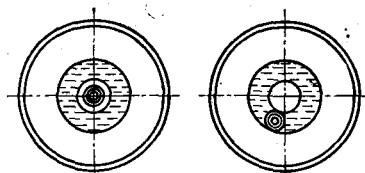


Рис. 192. Контроль установки весов по уровню

2. Необходимо систематически проверять тарную нагрузку, тарные грузы должны быть хорошо закреплены, так как изменение их положения во время работы вызывает изменение условий равновесия.

3. Требуется периодически проверять уровень масла в успокоителе. Уровень масла в стакане успокоителя должен быть на 8—10 мм выше поршня успокоителя при его верхнем положении.

Летом успокоитель заполняют смесью трансформаторного масла с автолом № 10 в соотношении 1:2, 1:5, зимой — чистым трансформаторным маслом.

4. Циферблатные весы должны подвергаться периодическим осмотрам с проверкой и соответствующим ремонтом: один раз в 3 месяца производится осмотр, проверка и текущий ремонт, один раз в год — средний ремонт с клеймением; один раз в 4 года — капитальный ремонт с клеймением.

При осмотре и проверке механизмов весов все обнаруженные неисправности немедленно устраняют. Ослабленные гайки, винты подтягивают, дефектные и поломанные детали заменяют запасными.

5. Основные неисправности весов: «зарезы» подушек, притупление рабочего острия призм, сколы и трещины, недостаточная твердость подушек и призм.

Твердость призм и подушек может быть определена непосредственно на весах с помощью тарировочного напильника. Заправ-

ку рабочих ребер призм и канавок подушек при необходимости выполняют мелким заправочным карборундовым брусочком.

Конусные призмы могут быть заменены на запасные; при замене нельзя ударять непосредственно по призме, поэтому на торец призмы подкладывают медную или другую мягкую подкладку.

При текущем ремонте устраняют мелкие неисправности на месте эксплуатации.

Средний и капитальный ремонт выполняют в специализированных весоремонтных мастерских, которые несут ответственность за ремонт и готовят веса для поверки и клеймения их органами Государственного комитета стандартов.

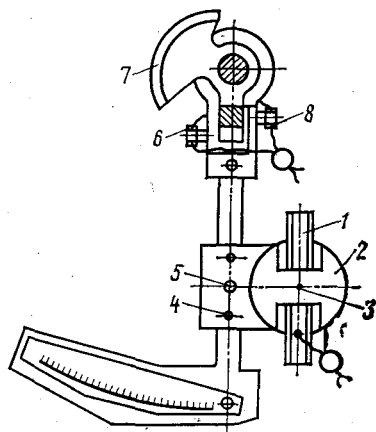


Рис. 193. Квадрант:

1 — винт, 2 — груз, 3, 4 — стопорные винты, 5 — контрольный винт, 6, 8 — установочные винты, 7 — кулачок

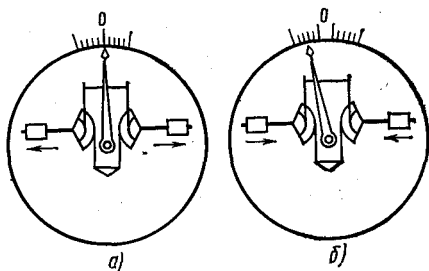


Рис. 194. Настройка и юстировка весов

Юстировка циферблатных весов. При превышении допускаемых погрешностей производят юстировку (регулировку) весов. Юстировка заключается в приведении механизма в состояние, при котором показания указательной стрелки по отсчетной шкале соответствуют массе образцовых гирь 4-го разряда, а погрешность показаний не превосходит установленного допуска.

Перед юстировкой необходимо проверить состояние деталей и узлов, убедиться в отсутствии постороннего трения в механизмах. Если после нажатия на платформу или основной весовой рычаг промежуточного механизма стрелка возвращается на прежнюю отметку, то постороннее трение в механизмах отсутствует. Юстировка на циферблатном указателе выполняется путем изменения положения противовеса грузоприемного сектора квадрантов и грузиков на указательной стрелке.

При регулировке грузоприемных секторов квадранта (рис. 193) необходимо отвернуть контрольный винт 5, ослабить установочные винты 6 и 8 и повернуть сектор в ту или иную сторону в зависимости от показаний прибора.

При плюсовых погрешностях ослабляют верхний установочный винт и подтягивают нижний.

При минусовых погрешностях грузоприемный сектор опускают, т. е. выполняют обратные действия.

Если указательная стрелка при максимальной массе гири не дошла до деления наибольшего предела взвешивания, то противовесы квадрантов передвигают к центру (рис. 194,б); если указательная стрелка перешла за деление, соответствующее наибольшему пределу взвешивания, противовесы квадрантов передвигают по стержням от центра (рис. 194,а).

Основные неисправности весов. 1. Указательная стрелка при взвешивании совершает более трех-четырех колебаний из-за слабого тормозящего действия успокоителя колебаний.

Требуется настроить работу успокоителя регулировочным винтом, уменьшая зазор между поршнем и колпачком.

2. Указательная стрелка при взвешивании резко останавливается вследствие резкого тормозящего действия успокоителя.

Необходимо настроить работу успокоителя регулировочным винтом, увеличивая зазор между поршнем и колпачком.

3. При резком изменении температуры воздуха стрелка останавливается резко или начинает делать более трех-четырех колебаний.

Причина возникшей неисправности заключается в несоответствии марки масла окружающей температуре. При зимнем режиме требуется масло заменить на менее вязкое и отрегулировать успокоитель; при летнем режиме — сменить масло на более вязкое и отрегулировать успокоитель.

4. Указательная стрелка колеблется с задержками, не плавно. Данная неисправность возникает при наличии трения между поршнем и цилиндром успокоителя из-за смещения тяги в месте подвески. Для устранения неисправности необходимо правильно установить шток успокоителя.

5. Весы изменяют свои показания — при одной и той же нагрузке стрелка останавливается на различных делениях шкалы.

Неисправность возникает от дополнительного трения в механизме весов и неправильной сборке. Требуется проверить сборку узлов всех механизмов.

При эксплуатации автомобильных и элеваторных весов платформа должна иметь незначительные свободные перемещения. После перемещений она не должна «затираться» с корпусом обвязочной рамы. Зазор между краями платформы и обвязочной рамой должен быть в пределах 10—15 мм.

Платформу весов устанавливают горизонтально и выше уровня земли на 150—200 мм. Устойчивость платформы не должна допускать приподнятия противоположного конца платформы при въезде автомашины. Необходимо проверять установку весов по уровню, контролировать уровень масла в стакане успокоителя.

Тарировку весов выполняют следующим образом: если стрелка весов отходит от вертикали на угол не более $5-8^\circ$ при тарной нагрузке, то весы тарированы правильно; если стрелка весов от-

ходит от вертикали на угол более 8° , требуется выполнить тарировку тарировочным грузом.

После тарировки проверяют работу масляного успокоителя. Если стрелка делает больше или меньше трех колебаний, то необходимо настроить работу успокоителя регулировочной гайкой.

Для учета работы весов, отметок о их поверках и ремонтах необходимо вести эксплуатационный паспорт. Вместе с эксплуатационным паспортом должен храниться также и технический паспорт завода-изготовителя.

§ 3. Ремонт оптико-механических приборов

Процесс ремонта оптико-механических приборов подразделяется на пять этапов: определение неисправностей и подготовка заменяемых деталей, замена или ремонт оптических или механических элементов, сборка прибора, смазка и герметизация узлов, юстировка отремонтированного прибора.

Промывка оптических и механических частей приборов производится с целью удаления с их поверхностей различных загрязнений — следов масел и пыли. Применяется ультразвуковая и простая механическая очистка в среде растворителя. Ультразвуковая очистка эффективна при большом объеме ремонта различных оптико-механических приборов. В качестве растворителей используют ацетон, бензин «Галоша», бензол, растворы щелочей и кислот, в целом ряде случаев используют дополнительные компоненты.

В последнее время для ультразвуковой промывки широко используют такие органические соединения, как трех- и четыреххлористый углерод.

В качестве источника ультразвуковых колебаний применяют звуковой генератор с частотой от 10 до 40 кГц. Длительность промывки в зависимости от загрязнения деталей составляет от нескольких секунд до нескольких минут.

Ручным способом детали промывают в среде авиационного бензина Б-70 специальным ершиком. В зависимости от требований частоты промывка может выполняться циклом, включающим несколько рабочих ванн с различной чистотой растворителя. На конечной стадии используют чистый бензин.

После промывки и сушки оптические детали подлежат окончательной чистке перед сборкой. Обезжиривание осуществляют органическими растворителями — этиловым спиртом или смесью этилового спирта с петролевым эфиром в соотношении 9:1. При таком обезжиривании применяют ватные тампоны, салфетки и беличьи кисточки.

Рабочее место должно быть оборудовано специальными приспособлениями, обеспечивающими чистоту набора инструмента, ватных тампонов, замши и т. д. Рабочие поверхности пинцетов и инструмента должны быть оклеены замшей.

При большом количестве обрабатываемых деталей устанавливается приспособление (рис. 195), включающее вращающийся от

электродвигателя 2 маховик 1, имеющий захватывающий патрон 3. В патроне закрепляют обрабатываемую деталь и при вращении маховика обрабатывают ее.

Антифрикционные смазки и масла, применяемые при смазке приборов, обеспечивают хорошее качество притирки трущихся поверхностей и плавность хода. Смазки подразделяются на три вида: масла, консистентная и твердая.

Смазка ГОИ представляет собой консистентную смазку, состоящую из костного масла, приборного масла МВП и церезина. Она применяется для смазки трущихся механических соединений, имеющих очень малые зазоры, порядка нескольких десятков микрометров (мкм) и работающих в непосредственной близости с оптическими элементами.

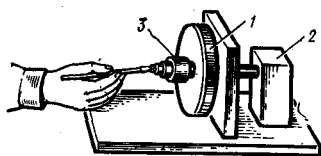


Рис. 195. Приспособление для обработки оптических деталей

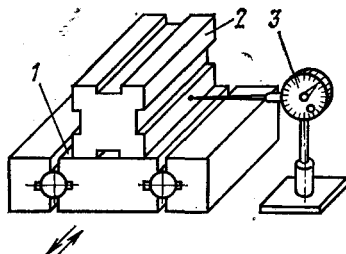


Рис. 196. Схема проверки люфтов и прямолинейности направляющих

В силовых передачах используют смазку БВН — графитовая смазка с церезином; смазку ЦИАТИМ-202 и ОКБ-122-7.

Для смазки затворов фотообъективов и кинематических звеньев часовых механизмов и передач используют веретенное масло АУ и часовое масло МЗП-6.

Пыль и влага в оптико-механических приборах вызывают коррозию, расслоение оптических склеенных элементов и ухудшение оптических характеристик приборов. Для борьбы с такими явлениями применяют герметизацию элементов с помощью специальных уплотнительных замазок, которые подразделяются на твердые, полутвердые и мягкие.

Твердая замазка используется в широком интервале температур от -60 до $+80^{\circ}\text{C}$. Замазка содержит такие компоненты, как масло МС-14, воск, рубрикс, канифоль, церезин и озокерит. Новый уплотнитель «Герметик-УТ-34» работающий в подобном температурном диапазоне, выдерживает ударные и вибрационные нагрузки.

Полутвердая замазка используется для заливки головок стопорных винтов и резьб, крепления защитных стекол и устранения зазоров. Интервал рабочих температур от -60 до $+60^{\circ}\text{C}$. Замазка содержит такие компоненты, как трансформаторное масло, битум, канифоль, вазелин, каолин и церезин.

Мягкая замазка применяется для уплотнения узлов приборов, соединения поверхностей и фиксации резьбовых соединений. Ин-

тервал рабочих температур от -60 до $+60^{\circ}\text{C}$. Компонентами замазки являются приборное масло МВП, канифоль, воск, церезин и петролатум.

Все вышеперечисленные замазки обладают высокой пластичностью, малой усадкой и сохраняют свои свойства на длительный период.

В процессе сборки оптико-механических приборов возникает ряд специфических особенностей, как установка, крепление оптических элементов, проверка и устранение люфтов направляющих. Как правило, крепление оптических элементов производится с помощью центрирующих резьбовых пружинящих колец, планок и герметиков. В некоторых случаях применяется вальцовка — неразъемное соединение, выполняемое путем закатки поверхности механической детали относительно оптической детали и ее жесткой фиксации.

Некоторые приборы работают в широком диапазоне температур, вследствие чего при креплении применяют компенсационные упругие кольца, которые устанавливают между линзами и резьбовым крепящим кольцом. Такая конструкция крепления оптических деталей устраняет возможность появления деформаций и напряжений в оптике и предохраняет ее от повреждений и поломок.

Призмы крепят с помощью жестких планок, а пружинящие планки, подобно упругим кольцам, применяют для компенсации линейных расширений деталей.

Элементы приборов и узлов, имеющие направляющие, проверяют на горизонтальные и вертикальные биения и люфты. На рис. 196 показана схема проверки на отсутствие люфтов и прямолинейности направляющих. На направляющей 1 по ходу ее движения установлена и закреплена лекальная линейка 2. На подставке установлен индикатор 3, упирающийся своим датчиком в поверхность лекальной линейки. Наличие изменений в показаниях индикатора говорит о неисправности и непрямолинейности самой направляющей.

На рис. 197 показан набор специального инструмента, применяемого при сборке и соединении оптических и механических деталей приборов.

Шлицевые ключи используют для закрепления и ввинчивания внутренних резьбовых оправ и колец, а накидные ключи — для закрепления силовых фасонных гаек и колец, имеющих специальные отверстия или буртики.

Юстировка окуляров оптико-механических приборов имеет

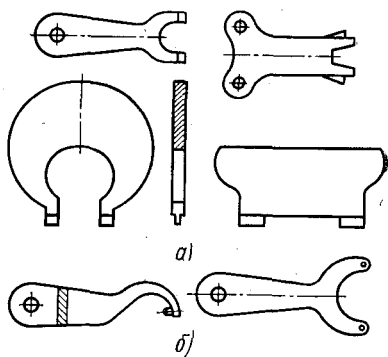


Рис. 197. Набор ключей для сборки оптических и механических деталей:
а — шлицевые, б — накидные

ряд особенностей. Существуют окуляры телескопических приборов, окуляры микроскопов и окуляры измерительных приборов.

Для хорошего качества изображения требуется высокая степень центрирования линз окуляра в пределах $0,05—0,1$ мм, что обеспечивается специальными центрирующими устройствами самого прибора.

К окулярам бинокулярных приборов предъявляются требования к совпадению оси вращения и оптической оси окуляра, т. е. параллельности осей труб прибора. Кроме того, резкое увеличение окуляров вызывает искажение, удвоение изображения по краю поля и соответственное искажение и ошибки измерения в дальноте. Поэтому на специальных стендах измеряют фокусные расстояния окуляров с допустимой разницей не более 2%.

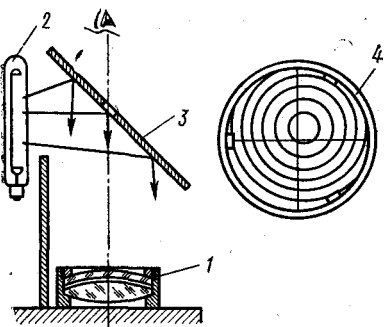


Рис. 198. Установка для контроля качества сборки двухлинзовых объективов

Так как объективы представляют собой систему линз, у которых центры кривизны сферических поверхностей расположены на прямой линии, то при их сборке и юстировке учитывается точность центрирования линз. Собранный объектив при изображении объекта всегда характеризуется искажениями по яркости, форме и т. д. Такие явления возникают из-за аберрации, отклонения размеров оптических элементов, неточности центрирования и т. д. Поэтому существуют определенные допустимые значения отклонений размеров элементов и центровка при сборке объективов.

Все элементы объектива перед сборкой промывают, сушат и удаляют пыль. Методом последовательного монтажа (столбиком) линзы собирают и крепят зажимными кольцами, затем собранный объектив проверяют на центровку, аберрацию и определение его оптических характеристик.

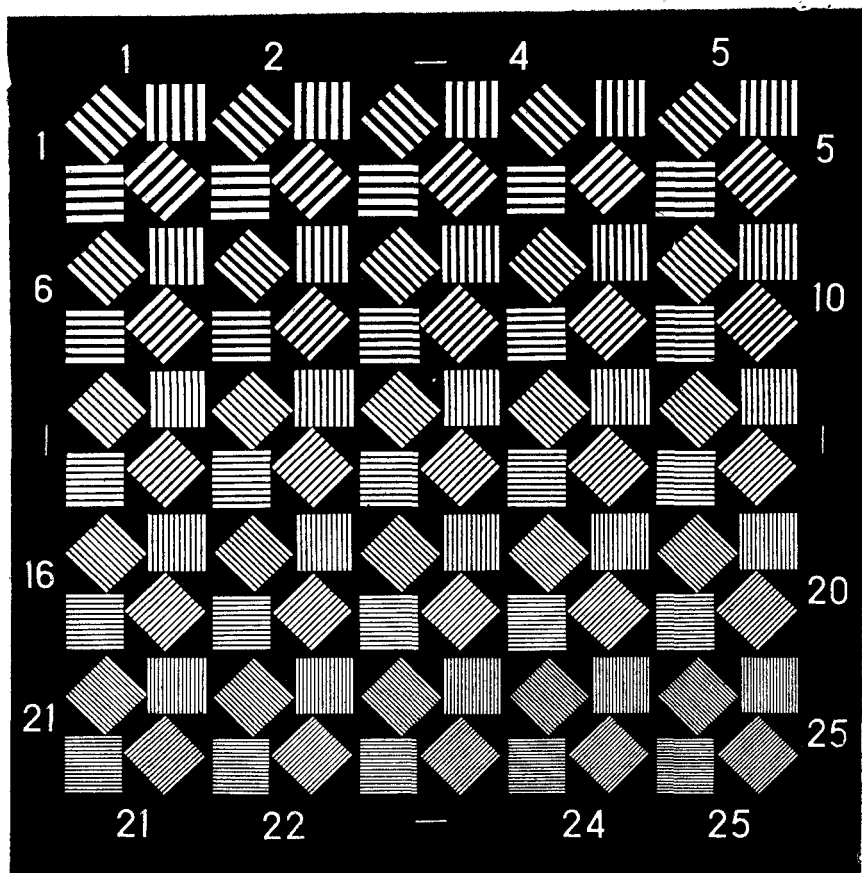
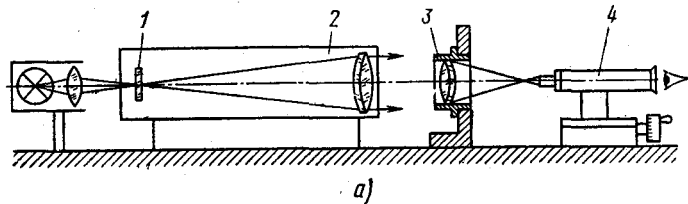
Все элементы объектива перед сборкой промывают, сушат и удаляют пыль. Методом последовательного монтажа (столбиком) линзы собирают и крепят зажимными кольцами, затем собранный объектив проверяют на центровку, аберрацию и определение его оптических характеристик.

При сборке крупногабаритных двухлинзовых объективов с небольшим воздушным промежутком $0,04—0,1$ мм между линзами устанавливают тонкие кольца из металлизированной фольги. Если воздушный зазор выбран неравномерно, то возникают искажения изображения. Поэтому такие объективы проверяют на центровку специальными приспособлениями.

На рис. 198 показана установка для контроля качества сборки двухлинзовых объективов. Проверяемый объектив 1 устанавливают под специальный экран 3, освещенный ртутной лампой 2. Вращением объектива вокруг своей оси добиваются совмещения изображения перекрестия, выполненного на экране 3, от двух поверхностей линз. Если линзы имеют правильную центровку, то в межлинзовом промежутке видны правильные концентрично расположенные кольца Ньютона в микроскопе 4. Если центри-

ровка выполнена с перекосом, то центр колец смещен от перекрестия в экране в сторону большего зазора между линзами.

Качество сборки и юстировки объективов телескопов контролируют после определения разрешающей способности и определения качества изображения точечного источника света.



b)

Рис. 199. Проверка разрешающей способности объектива телескопов:

а — установка для проверки разрешающей способности объектива телескопов, б — общий вид штриховой миры; 1 — штриховая мира, 2 — коллиматор, 3 — проверяемый объектив, 4 — микроскоп

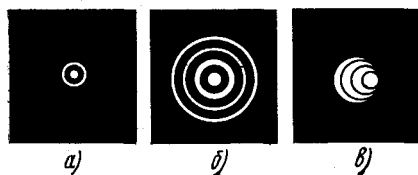


Рис. 200. Изображение дифракционной точки:

а — при правильной сборке, *б, в* — при неправильной сборке

ний на 1 мм), a — ширина штриха разрешаемого элемента штриховой миры, f_k — фокусное расстояние коллиматора, $f_{об}$ — фокусное расстояние объектива.

Качество изображения точечного источника света определяется по изображению точечной диафрагмы, расположенной в фокальной плоскости коллиматора. Если объектив собран правильно, то изображения точки окружено одним или двумя правильными кольцами, не имеющими разрывов (рис. 200, *а*). При неудовлетворительной сборке объектива наблюдается увеличенное и искаженное количество колец (рис. 200, *б, в*). Причина этих явлений — повышенная аберрация или неправильный выбор радиусов при сборке поверхностей линз.

§ 4. Ремонт электроизмерительных приборов

Характерными неисправностями электроизмерительных приборов являются: повышенное трение в опорах; неисправность спиральных пружинок; обрывы обмоток рамок; обрывы добавочных сопротивлений и шунтов; выход из строя элементов схем, диодов и триодов.

Трение в опорах увеличивает погрешность измерений, так как равновесие между вращающим моментом подвижной системы и противодействующим моментом пружин при измерении электрической величины наступает несколько раньше и стрелка прибора не фиксирует истинное положение равновесия. Это справедливо как при уменьшении, так и при возрастании измеряемой величины, поэтому возникает удвоенная погрешность от трения, называемая вариацией от сил трения.

Основными причинами возрастания погрешностей от трения в опорах являются: плохое качество полировки камня и керна, уменьшение противодействующего момента пружин и увеличение массы подвижной системы.

Конус керна должен иметь угол в пределах 50—55°. При заправке керна требуется вначале обработать поверхность конуса, а затем приступать к обработке сферической поверхности (для закругления по заданному радиусу). Керны удобно заправлять в цанге часового станка полировочными брусками. Качество заправки контролируется микроскопом, установленным на корпусе станка.

В качестве шлифовальных кругов применяют круги из яшмы

и алмазов, а для полировки — наборные круги из кожи, фетра или прессшпана.

В состав полировочной пасты входят: парафин 30 г, стеарин 30 г, керосин 6 г, пищевой свиной жир 10 г, окись хрома 240 г. Окись хрома должна иметь тонкую структуру (дисперсность), поэтому ее просеивают через сито (шелк), имеющее 900 отверстий на 1 см^2 .

Для полировки применяют также пасты ГОИ, имеющие три сорта: тонкая, средняя и грубая.

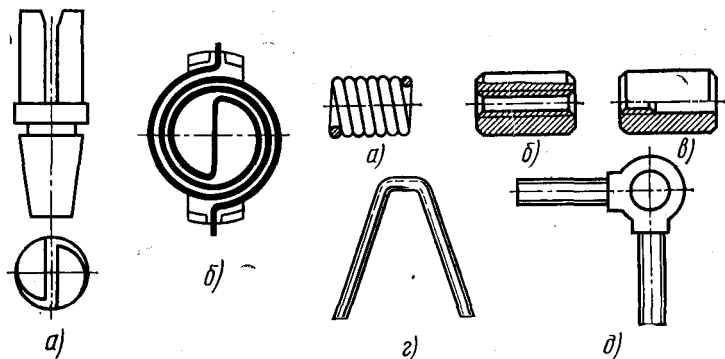


Рис. 201. Форма оправки для навивки спиральных пружинок:
а — оправка, б — вид пружинки в оправке

Рис. 202. Типы противовесов и их держателей:
а, б, в — противовесы, г, д — держатели

К неисправностям спиральных пружинок можно отнести изгиб, перегрев током и т. д. Незначительный изгиб или скручивание можно выправить после демонтажа пружинки двумя пинцетами. Осмотр качества пружинки производят с помощью часовой лупы.

Установку и пайку пружин выполняют после тщательной подгонки соотношений размеров между пружинодержателями.

Пружинки навивают в специальных оправках (рис. 201).

После ремонта подвижной системы электроизмерительного прибора с целью устранения дополнительной погрешности осуществляют ее уравнивание (балансировка) правильной установкой противовесов. Типы противовесов и их держателей показаны на рис. 202. Они изготавливаются из латунной проволоки.

Систему уравнивают перемещением грузиков-противовесов относительно их держателей до тех пор, пока при наклоне прибора стрелка не отклоняется от нулевой или другой отметки шкалы. Окончательную фиксацию противовесов выполняют в зависимости от типа прибора оловом, припоем или шеллаком.

Измерительные стрелки (рис. 203) при деформациях и изгибах выравнивают пинцетом.

Ремонт рамок, неподвижных катушек измерительных механизмов, шунтов и катушек индуктивностей выполняют перемоткой проводов согласно техническим данным прибора (сечение, тип изоляции).

Существуют однослойная и многослойная укладка витков обмотки. К однослойной укладке относится простая однослойная и бифилярная обмотки; к многослойной — простая многослойная, спиральная секционированная и бифилярная обмотки.

Бифилярная обмотка выполняется для уменьшения индуктивности катушек. Провод в этом случае перед намоткой складывается вдвое.

Рамки подвижных систем бывают каркасные и бескаркасные. Перед намоткой рамок провод проверяют на наличие ферромагнитных включений, а также измеряются сечение и сопротивление на длине одного метра. При укладке провода через 2—4 слоя обмотку следует пропитать бакелитовым лаком. Для намотки бескаркасной рамки применяют специальные оправки (рис. 204), с проводом которой связан счетчик числа витков.

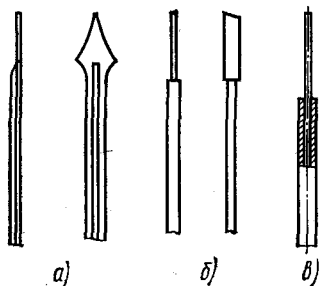


Рис. 203. Типы стрелок измерительных приборов:

а — копьевидные, б — ножевые, в — рамочные

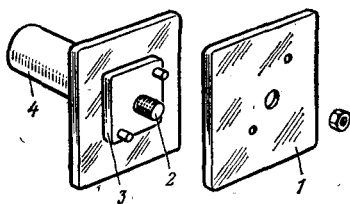


Рис. 204. Оправка для намотки бескаркасных рамок:

1 — накидная пластина, 2 — стяжной болт, 3 — шаблон рамки, 4 — ось

В зависимости от диаметра используемого провода для обеспечения высокого качества намотки, исключения случаев обрыва, повреждений изоляции и нарушения формы рамки при намотке должно соблюдаться необходимое натяжение провода. Натяжение обеспечивается тормозным устройством.

В табл. 20 приведены значения натяжений медного провода при намотке рамок.

После намотки требуемого количества витков верхний слой обмотки покрывают лаком, сушат 6—8 ч при температуре 20—25°C, а затем рамку помещают в термостат с температурой 100—120°C на 7—9 ч. После этого оправку разбирают, рамку очищают от следов лака, зачищают выводы и вторично сушат в термостате при той же температуре в течение 2—3 ч. После сушки проверяют общее сопротивление рамки на отсутствие обрывов и короткозамкнутых витков. На рис. 205 показана схема стенда для выявления короткозамкнутых витков.

В анодной цепи триода лампового генератора установлен резонансный контур, состоящий из катушки индуктивности $L1$ и конденсатора $C1$. Величина сеточного тока определяется параметрами резонансного контура $L1 — C1$ и фиксируется миллиамперметром.

Если на катушку сердечника установить проверяемую рамку L_K , имеющую короткозамкнутые витки, то изменяется режим лампового генератора (его анодный и сеточный токи), что вызовет изменение показаний миллиамперметра.

Намотка, проверка и сушка каркасных рамок практически не отличаются от намотки, проверки и сушки бескаркасных рамок. Перед намоткой проверяют каркас рамки, затем каркас покрывают бумагой и устанавливают на опреле в станок. В качестве клея при намотке используют клей БФ-2. Выводы рамки зачищают шабером или скальпелем, закручивают вокруг лепестков стрелкодержателей и

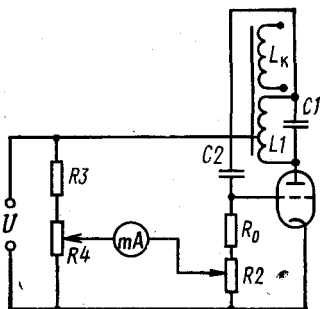


Рис. 205. Схема станда для выявления короткозамкнутых витков рамок.

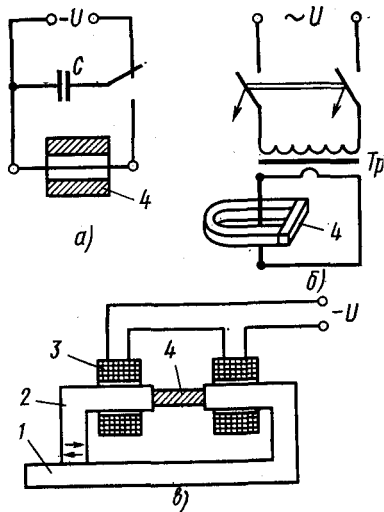


Рис. 206. Схемы намагничивания постоянных магнитов:

1 — неподвижный магнитопровод, 2 — подвижный магнитопровод, 3 — катушка, 4 — магнит

держателей, а затем паяют припоем ПОС-90 с канифолью или флюсом ЛТИ-1.

Намотку катушек индуктивностей, шунтов и добавочных сопротивлений выполняют так же, как и рамки.

В качестве намоточного провода при намотке добавочных сопротивлений и шунтов используют манганиновый провод в эмалированной изоляции. Намотка ведется до заданной величины сопротивления и контролируется мостом типа МО или МВУ. После намотки для стабилизации характеристики добавочное сопротивление подвергается искусственному или естественному старению. Искусственное старение заключается в выдержке сопротивления в термостате при температуре 120°C в течение 8 ч и остывании при комнатной температуре $20\text{--}25^{\circ}\text{C}$. Цикл старения повторяется 8—12 раз (в зависимости от диаметра провода), затем окончательно подгоняют сопротивления с помощью указанных приборов.

Магнитные системы приборов вследствие магнитного старения теряют свои свойства с течением времени. Причинами частичной потери магнитных свойств являются физико-химические изменения структуры материала, изменение температуры, действие внешних магнитных полей и т. д.

Для улучшения свойств и повышения стабильности постоянных магнитов производится их искусственное старение, которое заключается в выдержке магнита при температуре 100°C в течение нескольких часов, а затем его намагничивании.

Намагничивание может производиться по одной из приведенных схем (рис. 206). По схеме (рис. 206,а) магнит намагничивается постоянным током с токоведущей шиной между полюсами электромагнита. По этой схеме намагничиваются постоянным током разряда батареи конденсаторов C общей емкостью до 20 мФ и при напряжении до 400 В кольцевые и замкнутые магнитные системы.

По схеме (рис. 206,б) намагничивание производится на перемен-

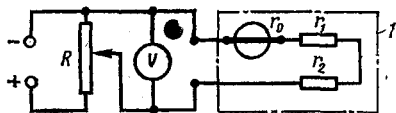


Рис. 207. Схема подгонки сопротивления цепи рамки:

R — потенциометр, r_0 — рамка, r_1 , r_2 — подгоночные сопротивления; I — проверяемый прибор

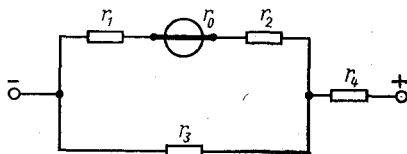


Рис. 208. Схема компенсации температурной погрешности магнитоэлектрического прибора:

r_0 — рамка, r_1 , r_2 — подгоночные катушки, r_3 — шунт, r_4 — сопротивление, определяющее предел измерения прибора

ном токе через силовой трансформатор, нагрузкой которого является короткозамкнутая медная шина, на которой установлен намагничиваемый магнит. При размыкании цепи (с помощью автомата в первичной обмотке трансформатора) индуцируется намагничивающий импульс тока до 20—25 кА. При намагничивании по схеме (рис. 206,в) магнитное поле создается катушками $З$.

После ремонта измерительного механизма его закрепляют с помощью установочных болтов и присоединяют к электрической схеме. Для предохранения резьбовых соединений от самоотвинчивания их покрывают лаком АК20. Затем производится балансировка, определение и подгонка угла отклонения рамки со стрелкой, проверка параллельности плоскости шкалы и плоскости вращения стрелки прибора. После этого проверяют чистоту поверхностей демпферов, работу арретира, крепление подвижной части прибора, осевой зазор между керном и его подпятником.

Вследствие того что угол отклонения прибора магнитоэлектрической системы зависит от тока рамки, подгонкой сопротивления рамки можно добиться соответствия между углом поворота стрелки и значением измеряемого тока.

На рис. 207 показана схема подгонки сопротивления рамки щитовых приборов. По образцовому прибору выставляют заданное напряжение и изменением подгоночных сопротивлений r_1 , r_2 добиваются соответствующего показания регулируемого прибора.

При ремонте рамки приборов классов точности выше 0,5 проверяют схему компенсации температурной погрешности (рис. 208).

Медное подгоночное сопротивление r_1 и манганиновое сопротивление r_2 включены последовательно с рамкой r_0 прибора для температурной компенсации. Сопротивление r_4 , включенное последовательно с цепью рамки, определяет предел измерения прибора.

Подгонку цепи рамки производят регулировкой тока потребления подгоночной катушкой r_1 .

Ремонт и устранение неисправностей комбинированных электроизмерительных приборов. При невозможности ремонта узлы и детали заменяют, а затем выполняют подгонку, проверку и градуировку прибора. Обнаружение неисправностей прибора ведется по описанию, заводской электрической схеме прибора и спецификации элементов схемы.

При замене сопротивлений их номиналы определяют по спецификации. Обрыву сопротивлений и шунтов многопредельных приборов соответствует отсутствие показаний прибора или их искажение.

В комбинированных приборах переменного и постоянного токов при выходе из строя диодов мостовых схем прибор не работает на всех пределах постоянного тока (или имеет неправильные показания) и правильно работает на пределах измерения переменного тока. Недопустимая погрешность измерения прибора на переменном токе может быть также связана с изменением коэффициента усиления транзистора.

Полное отсутствие показаний прибора на всех пределах измерения связано с обрывом цепи измерительного механизма.

Применяемые при проверке и ремонте измерительные установки позволяют обеспечить повышение производительности труда и точности измерений.

Измерительные установки типов У309, У355, У313 предназначены для точных измерений э. д. с. напряжений, токов и электрического сопротивления. Кроме того, установки позволяют производить проверку потенциометров, магазинов сопротивлений и других типов приборов измерения сопротивления на постоянном токе.

Установка У309 обеспечивает измерения; э. д. с. и напряжений до 2,1 В на потенциометре типа Р309; напряжений до 1000 В; постоянного тока до 10 А; электрических сопротивлений до 10^5 Ом.

Автоматизированная установка типа У313 используется для градуировки и проверки электроизмерительных приборов на постоянном и переменном токе до класса точности 0,5. Установка позволяет вести разбраковку электроизмерительных приборов по классам точности и определять поправки к показаниям прибора в долях деления шкалы. С помощью кнопочного пульта управления цифропечатающей машинкой оформляется протокол испытания с указанием типа, номера и предела измерения прибора.

Кроме целого ряда специальных испытательных стендов ремонтный участок должен быть укомплектован следующими приборами: универсальным мостом Уитстона МВУ-49, одинарно-двойным мостом Р39 или образцовым двойным мостом МО — для измерения сопротивлений элементов электрических схем и блоков.

Ремонт манометрических термометров типов ТПГ-СК, ТС-100.

Наиболее распространенными неисправностями приборов данной группы являются: частичная или полная разгерметизация термосистемы термобаллон-капилляр; неисправности в кинематических элементах показывающего устройства; отказы сигнальных устройств и контактных групп; неисправности и отказы механизмов привода диаграммного устройства (электродвигателя или часового механизма).

Для проверки герметичности термосистемы термобаллон помещают в термостат, изменяют температуру его нагрева и методом сравнения показаний образцового и ремонтируемого манометрического термометра определяют герметичность термосистемы. Если основная погрешность манометрического термометра лежит в пределах его класса точности, то термосистема герметична.

Отсутствие приращения показаний на приборе при повышении температуры указывает на потерю чувствительности термосистемы вследствие нарушения ее герметичности.

Место разгерметизации определяют подачей азота в термосистему через капиллярный отросток, для этого редуктором плавно повышается давление азота в пределах 1,5—3,0 МПа (15—30 кгс/см²), термобаллон с капилляром погружают в емкость с водой, а пружину показывающего прибора — в емкость с керосином или бензином. Наличие пузырьков азота, поднимающихся на поверхность жидкости, указывает место разгерметизации датчика.

Наибольшую трудность представляет определение разгерметизации капилляра, так как он защищен металлической защитной оболочкой.

Место повреждения в термобаллоне устраняется запаиванием припоем типа ПСр-45; при неплотности капилляра вырезают поврежденный участок, устанавливают на капилляре вставки из медной трубки Ø2—3 мм и опаивают ее припоем типа ПСр-45.

После ремонта термосистему проверяют на падение давления в системе; если падение давления отсутствует, то термосистема герметична.

Затем термосистему заполняют наполнителем (газом, жидкостью или конденсатом), согласно паспортным данным прибора. Давление в термосистеме контролируют по образцовому манометру. Величина давления, при котором заполняется система, называется начальным давлением. Величина начального давления определяется согласно паспорту прибора и зависит от пределов измерения манометрического прибора и характеристики пружины. Для газовых термометров начальное давление составляет 1,0—3,4 МПа (9,8—34,4 кгс/см²).

Отросток капилляра после данной операции расклепывают и опаивают.

Нарушения и отказы в кинематических звеньях возникают при увеличении трения, загрязнения и коррозии элементов измеритель-

ного механизма, а также при плохих соединениях кинематических звеньев.

При неисправностях необходимо осмотреть элементы, проверить трение в соединениях измерительного механизма с пером и пружиной. При обнаружении повышенного трения и загрязнения механизма его разбирают, чистят и промывают в бензине.

Если при поверке манометрического термометра после его ремонта обнаруживается несоответствие показаний с действительной температурой, то необходимо произвести корректировку «нулевого» положения стрелки прибора при установке термобаллона в среду тающего льда, т. е. при 0°C .

Отказы сигнальных устройств происходят, как правило, при неправильной эксплуатации прибора, в условиях повышенной вибрации, превышении максимально допустимого тока через контактные устройства. При этом возникает повышенное искрение контактных групп, «залипание» контактов, а также их обгорание.

Периодически контакты сигнальных устройств необходимо очищать волосяной щеточкой, смоченной в бензине или техническом спирте.

Категорически запрещается зачищать контакты надфилями и мелкозернистой шкуркой во избежание нарушения поверхности контактов и снятия серебра. Обгоревшие контакты подлежат замене. После чистки контактных групп проверяют и регулируют зазоры контактов и четкость их срабатывания.

К неисправностям механизма привода диаграммного устройства следует отнести: превышение погрешности хода диаграммы свыше допустимых норм (для синхронного двигателя ± 15 мин, для часового механизма ± 5 мин за 24 ч непрерывной работы); периодические отказы механизмов привода.

Основными неисправностями терморпар и термометров сопротивлений являются: обрыв чувствительных элементов, замыкание элементов на корпус, межвитковое замыкание термометра сопротивления, понижение сопротивления изоляции, повреждение защитной гильзы.

Сопротивление изоляции обмотки термометра сопротивления и терморпары замеряют мегомметром типа М1101М на 500 В. Целостность обмотки и значение сопротивления термометра определяют лабораторным мостом типа МВУ-49, образцовым мостом МО. Причиной уменьшения величины сопротивления по сравнению с градуировочными данными может явиться витковое замыкание датчика или утечка тока через клеммник.

При обрывах обмотки термометров сопротивления их заменяют новыми чувствительными элементами той же градуировки, а при их отсутствии выполняют ремонт термометров.

Ремонт медных термометров сопротивлений заключается в изготовлении (намотке) чувствительного элемента. Для этого на предварительно подготовленный и бакелизованный каркас равномерным шагом наматывают медный провод марки ПЭШО или ПЭС диаметром 0,1 мм; каждый слой обмотки покрывают бакели-

товым или глифталевым лаком. После просушки элемента с целью получения стабильной характеристики термопар сопротивления подвергается старению, которое ведется при температуре 150°C в течение 6 ч. После охлаждения производится проверка, подгонка и сравнение характеристики термометра с градуировочными данными.

Перед сборкой термометра выводы клеммника припаивают к концам чувствительного элемента припоем типа ПОС-60.

При ремонте платиновых термометров сопротивления чувствительный элемент разбирают, отделяя его от слюдяных накладок, стяжной ленты и каркаса. Обрыв устраняют сваркой платиновой проволоки в электрической дуге или в растворе поваренной соли переменным током напряжением 20—24 В.

При витковом замыкании элемента либо заменяют поврежденную слюдяную пластину с насечками, либо короткозамкнутые витки раздвигают и укладывают в соответствующие пазы (насечки) в слюдяной пластине.

Проверка, подгонка и сравнение сопротивления термометра с градуировочными кривыми производится с помощью мостов сопротивления типа МВУ-49 или МО.

Сопротивление изоляции отремонтированных и собранных в чехол термометров замеряют мегомметром, при этом напряжение прикладывается на корпус и закороченные выводы термометра. Величина сопротивления изоляции в зависимости от исполнения термометров сопротивления лежит в пределах 1—10 МОм.

Ремонт термопар при обрывах и нестабильности работы заключается в разборке и осмотре состояния рабочего конца и термоэлектродов. При обнаружении дефектов (трещин, обрывов) термопары ремонтируют. Места обрывов сваривают. Сварка рабочего конца термопары производится после скрутки концов электродов в электрической дуге между графитовыми электродами малого диаметра (5—8 мм) до образования расплавленного шарообразного окончания на конце электродов.

Обрывы электродов термопар типов ХА, ХК можно устранить дуговой сваркой. Для этого на вторичную обмотку понижающего трансформатора (напряжением 20—30 В) через графитовый электрод подсоединяют оборванные части термоэлектрода — с прикосновением графита к частям термоэлектрода возникает дуга и части свариваются.

При сварке термопар типов ХА, ХК в качестве флюса используется бура, которая после сварки удаляется резким охлаждением в воде.

При ремонте термопары из благородных металлов ее подвергают отжигу, чистке и проверке на однородность электродов. Отжиг производится нагревом электрическим током до температуры 1300°C в течение 1 ч, при этом бурой ведут чистку электродов от окислов. Однородность термоэлектрических свойств электродов проверяют милливольтметром, подключенным к свободным (холодным) концам термопары. Затем термоэлектрод помещают в му-

фельную печь. При медленном перемещении электрода через печь измеряется термо-э. д. с. Если термо-э. д. с. превышает половину допустимой погрешности термопары, то на данном нагретом участке существует неоднородность и этот участок подлежит замене.

Ремонт вторичных приборов — логометров и милливольтметров заключается в определении и устранении неисправностей, возникших при их эксплуатации, транспортировке и т. д.

Основными неисправностями таких приборов являются обрывы обмотки рамки и спиральных волосков измерительного механизма, износ подпятников и кернов, увеличение трения стрелки и выход элементов электронной схемы регулирующих приборов.

Подвижную часть прибора осматривают с помощью бинокулярной лупы. При этом обращают внимание на состояние подпятников и кернов. Подпятник не должен иметь следов трещин и неровностей. При наличии дефектов агатовый картер заменяют новым. Изношенные керны со следами нарушений полированной поверхности, конусности и радиуса закругления также подлежат замене. Протирка кернов и агатовых подпятников допускается только папирусной бумагой.

Противодействующие спиральные пружины, имеющие повреждения, заменяют новыми с теми же механическими характеристиками. При обрывах и повреждениях обмотки рамки производится замена или изготовление рамки с намоткой по шаблону. Тип провода, сечение и число витков определяются по техническим данным прибора.

В логометрах при ремонте измерительного механизма производят регулировку полного угла отклонения измерительной стрелки на угол $72 \pm 2^\circ$. Регулировку выполняют подгонкой сопротивлений, обеспечивающих минимальный и максимальный углы поворота стрелки.

Пример. Рассмотрим подгонку полного угла отклонения логометра типа Лр-64-02 градуировки Гр-23 со шкалой $-50 \div +100^\circ\text{C}$. Для этого в измерительную схему логометра (см. рис. 60) включают три магазина сопротивления типа Р-33. Первый магазин, имитирующий сопротивление датчика термометра сопротивления при температуре, соответствующей начальной точке шкалы с учетом сопротивления линии, равной 5 Ом, включают в цепь 2—3.

По табл. 5 определяют значение сопротивления термометра градуировки Гр-23 при $t = -50^\circ\text{C}$ (т. е. начальной точке шкалы прибора); $R_{т.с} = 41,71$ Ом.

К найденному значению прибавляем сопротивление соединительной линии $R_{л} = 5$ Ом, получаем $R_{м} = R_{т.с} + R_{л} = 41,71 + 5 = 46,71$ Ом.

Значение $R_{м}$ устанавливаем на первом магазине типа Р-33. Второй и третий магазины включают вместо катушек R_2 , R_4 и имеют их номиналы.

При включении напряжения на логометр Лр-64-02 определяется положение стрелки, соответствующее начальной точке шкалы, т. е. -50°C . При полном отклонении стрелки от нулевой точки шкалы подгонка производится изменением сопротивления второго магазина (т. е. катушки R_2).

Затем на первом магазине устанавливают сопротивление, равное максимальному значению шкалы, т. е. 100°C . При $t = 100^\circ\text{C}$ термометр сопротивления градуировки Гр-23 имеет значение сопротивления $R_{т.с} = 75,58$ Ом.

С учетом сопротивления линии $R_{л} = 5$ Ом. $R_{м} = R_{т.с} + R_{л} = 75,58 + 5 = 80,58$ Ом, т. е. на первом магазине необходимо установить значение сопротивления, равное $R_{м} = 80,58$ Ом.

Если при включении прибора стрелка не отклоняется на конечное значение шкалы, необходимо изменением сопротивления третьего магазина добиться полного отклонения стрелки прибора.

После окончательной подгонки полного угла отклонения измерительной стрелки логометра вместо магазинов устанавливают постоянные сопротивления R_2 , R_3 с номиналами, равными значениям сопротивлений магазинов.

После замены и ремонта неисправных частей измерительного механизма осуществляют регулировку и балансировку его подвижной части перемещением грузиков-противовесов, закрепленных канифолью на усиках с противоположной стороны измерительной стрелки. При правильной балансировке изменения показаний прибора не должны превышать основной погрешности.

При обрывах или коротких замыканиях в термоэлектрическом термометре или милливольтметре прибор имеет нулевые показания. При данной неисправности необходимо определить место обрыва в датчике или приборе. Датчик подлежит ремонту или замене с равноценной градуировкой.

При неправильной полярности подключения датчика стрелка милливольтметра отклоняется влево.

Нестабильность показаний милливольтметра возможна при ненадежных контактах в местах присоединения проводов внешней линии, а также неисправности самого прибора.

Завышенные или заниженные показания милливольтметра возможны при неправильной установке стрелки прибора на нулевую отметку, неправильной подгонке сопротивления линии, а также неисправности самого прибора.

Отказ регулирующих устройств милливольтметра типа МР-64 или логометра ЛР-64 возможен при обрывах в цепи питания прибора, в цепи регулирования прибора, при выходе из строя выходного реле P_1 , транзисторов ПП1—ПП4, трансформатора и выпрямителя.

После ремонта милливольтметр проверяют с помощью переносного потенциометра типа ПП-63 класса точности не ниже 0,05 с диапазоном 100 мВ. Для этого к зажимам проверяемого прибора, предназначенным для подключения термоэлектрического термометра, подсоединяют клеммы потенциометра ПП-63. Корректором отремонтированного прибора устанавливается «0» прибора, а на потенциометре ПП-63 переключатель «Род работы» — в положение «Проверка», соответствующее диапазону измерения 25 мВ. Затем включают питание потенциометра ПП-63 и проверяют основную погрешность отремонтированного милливольтметра. Для этого плавно подводят стрелку к проверяемым отметкам шкалы, вращением ручки реостата «Напряжение».

Проверка производится на всех числовых отметках шкалы. Основная погрешность определяется по формуле: $\gamma = \frac{U_1 - U_2}{U_N} \cdot 100\%$, где U_1 — напряжение, соответствующее данной числовой отметке (определяется по градуировочным таблицам), мВ, U_2 — показания прибора ПП-63 (образцового прибора), мВ, U_N — номинальное значение напряжения, соответствующее диапазону измерения прибора, мВ.

Основная погрешность поверяемого милливольтметра не должна превышать паспортных значений.

Неисправности в электрической и электронных частях приборов, определяют по заводским принципиальным электрическим схемам и монтажно-эксплуатационным инструкциям. Полупроводниковые элементы проверяют на неисправность приборами Ц4341, Ф434 или Л2-1. Номиналы резисторов и состояние конденсаторов определяют омметром. При полном пробое конденсатора его сопротивление практически равно нулю, при частичном пробое — лежит в пределах нескольких килоом.

Неисправные резисторы часто имеют видимые следы нарушения теплового режима — обугливание, разрушение и отставание проводящего слоя.

В электронных мостах и потенциометрах основные неисправности возникают в кинематических узлах, измерительной схеме и усилителе.

Характерными неисправностями в автоматических потенциометрах и мостах являются:

- замедленное движение стрелки прибора из-за старения электронных ламп, заниженного коэффициента усиления усилителя, загрязнение реохорда, плохого экранирования входных цепей датчика (термопары или термометра сопротивления);

- самопроизвольный реверс электродвигателя привода измерительной стрелки и подвижного контакта реохорда из-за отсутствия напряжения на управляющей обмотке двигателя;

- несоответствие показаний прибора значениям измеряемой величины из-за неисправности датчика или несоответствия его градуировки.

Для определения и отыскания неисправностей к прибору, согласно электрической схеме, подключается напряжение переменного тока 220 В и датчик соответствующей градуировки. При заклинивании реверсивных двигателей типов РД, привода реохорда и измерительной стрелки выполняют разборку и промывку редуктора, осмотр и замену неисправных шестеренок. После сборки и смазки техническим вазелином редуктор проверяют на вращение. Вращение должно быть равномерным и плавным, без заеданий и посторонних шумов.

Неисправные шестеренки механизма привода диаграммы подлежат замене на новые.

После ремонта кинематических узлов приборов осуществляют проверку плавности хода механизма и заливку в редуктор двигателя 10 см³ масла типа МВП или МС-24.

Перед проверкой измерительной части приборов требуется: обратить внимание на положение вращающегося подвижного контакта на реохорде — «бочонка», расположенного между двумя спиралями реохорда. При небрежном проведении текущего ремонта на месте эксплуатации прибора, при транспортировке, крайних положениях измерительной стрелки контакт может соскочить с реохорда и образовать разрыв измерительной схемы

прибора, что может явиться ложной причиной неисправности прибора;

проверить и установить положение подвижного контакта реохорда, соответствующее положению измерительной стрелки, так как несоответствие положений служит причиной неправильных показаний.

Непосредственно реохорд представляет собой две спирали из калиброванной (манганиновой или палладий-вольфрамовой) проволоки, намотанной на изолированные медные шинки и закрепленные на круглом пластмассовом цилиндре. Одна спираль R_p рабочая (см. рис. 53), другая — закорочена для съема тока.

Полное (приведенное) сопротивление реохорда отечественных автоматических электронных приборов составляет 90, 120 или 300 Ом.

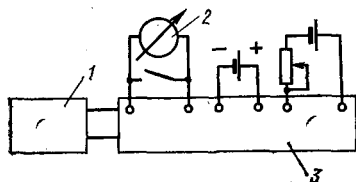


Рис. 209. Схема проверки исправности измерительной схемы автоматических потенциометров:

1 — автоматический проверяемый потенциометр, 2 — гальванометр, 3 — потенциометр ПП-63

Движок реохорда (бочонок) перемещается относительно реохорда реверсивным двигателем РД (см. рис. 53) и в процессе эксплуатации теряет свою бочкообразную форму, окисляется, нарушает контакт в измерительной схеме. Вследствие этого возникает частичная потеря чувствительности прибора и сбой в его работе.

Изношенный «бочонок» заменяют, а поверхность реохорда промывают спиртом или бензином волосяной щеточкой. После сушки реохорда в его нижнюю крышку заливают сухое трансформаторное масло для предотвращения окисляемости рабочей поверхности реохорда.

Правильность установки подвижного контакта реохорда проверяется с помощью схемы, представленной на рис. 209. На вход прибора 1 вместо термопары подключается переносной потенциометр 3 типа ПП-63.

Потенциометром ПП-63 устанавливается напряжение, равное значению э. д. с. термопары соответствующей градуировки. Если напряжение между точками А и В (см. рис. 51) равно э. д. с. потенциометра ПП-63, то стрелка его гальванометра находится в нулевом положении. Если стрелка гальванометра не устанавливается на нулевое положение, то требуется переместить подвижный контакт реохорда относительно самого реохорда. Перемещать контакт следует вручную до тех пор, пока стрелка гальванометра не установится в нулевое положение.

Исправность измерительных схем электронных мостов типов КСМ, МСР и других проверяют следующим методом. К точкам а и в измерительной схемы моста (см. рис. 59) подключают источник постоянного тока с напряжением 4—6 В, к точкам с и d

через выключатель подсоединяют гальванометр постоянного тока. Вместо датчика (термометра сопротивления) через добавочные сопротивления, равные 2,5 Ом, подключают образцовый магазин сопротивления типа МО.

Вручную стрелку ремонтируемого электронного моста перемещают на любое оцифрованное деление шкалы в пределах середины шкалы и устанавливают на магазине МО значение сопротивления, равное сопротивлению термометра соответствующей градуировки на определяемой точке шкалы. При этом значение сопротивления, установленное на магазине МО, определяется по типовым градуировочным данным термометров сопротивлений.

При правильном положении подвижного контакта на реохорде и исправности всех элементов измерительной схемы стрелка гальванометра имеет нулевые показания. При неисправности элементов измерительной схемы гальванометр не устанавливается на нулевые показания или зашкаливают при любом положении реохорда. В таких случаях проверяют все элементы измерительной схемы (согласно заводским данным) и надежность контактов в месте соединения катушек. Обрыв мест соединения катушек измерительной схемы в электронных мостах и потенциометрах возникают при небрежном проведении планово-предупредительных работ (ППР), при эксплуатации приборов, а также их транспортировке.

Пайку мест обрывов выполняют припоем ПОС-40 или ПОС-60. Катушки, имеющие внутренний обрыв, заменяют на новые или ремонтируют. После ремонта (намотки) катушки проверяют и подгоняют сопротивления с помощью мостов МО или МВУ-49 с точностью $\pm 0,03$ Ом.

Ремонт электронных усилителей автоматических мостов и потенциометров производится методом измерения сопротивлений и напряжений в отдельных точках схемы (по отношению к корпусу усилителя). При этом полученные результаты сравнивают с данными карт напряжений и сопротивлений ремонтируемого типа усилителя.

Причинами неисправностей усилителей могут быть обрывы или витковое замыкание силового или выходного трансформаторов, неисправности электронных ламп, полупроводниковых элементов, конденсаторов и резисторов.

В связи с внедрением в промышленность новых типов приборов повысилась унификация основных узлов, которые при неисправности заменяются на новые.

§ 6. Ремонт приборов для измерения давления

Основными неисправностями мембранных приборов — напорометров, тягомеров и тягонапорометров являются деформация мембранных коробок вследствие перегрузки, деформация измерительной стрелки, износ и коррозия кернов оси стрелки.

Ремонт мембранных приборов рекомендуется выполнять в такой последовательности:

вскрыть прибор, продуть кинематические элементы от пыли сухим сжатым воздухом или резиновой грушей;
определить и заменить неисправные элементы;
проверить надежность крепления деталей прибора;
проверить герметичность мембранной коробки. При обнаружении негерметичности пайка мембран возможна только на линии спая по образующей. Пайку мембраны на поверхности гофра не выполняют, так как при этом происходит изменение ее упругости, прибор дает большие разбросы по показаниям и не поддается регулировке;

проверить противодействующие пружины 2 (см. рис. 76) (начальный угол закручивания пружины должен составлять 90° , вилки не должны касаться друг друга, а поверхность пружины должна быть без следов замятин и деформаций);

установить стрелку прибора на нулевые показания с помощью корректора 14 (для проверки диапазона измерения подать на вход прибора давление, соответствующее пределу измерения).

Если стрелка при этом не установилась на предельное значение шкалы, то необходимо тягу 1 переместить на следующее отверстие коленчатого рычага 3.

После ремонта определяют погрешность и вариацию прибора. Приборы, удовлетворяющие нормам и требованиям инструкций, допускаются к дальнейшей эксплуатации.

Сильфонные чувствительные элементы в самопишущих манометрах, датчиках, вторичных приборах типов МС, ДМПК, РЛ, ДРД и других при эксплуатации подвергаются значительным знакопеременным нагрузкам. Поэтому основными неисправностями в таких приборах являются нарушение герметичности, образование трещин на гофрированной поверхности сильфона, старение и потеря упругости. При обнаружении таких дефектов требуется заменить неисправный сильфон.

Ремонт сильфонных приборов выполняют в такой последовательности (см. рис. 81):

отсоединить кинематическую связь сильфона с поводком, разобрать сильфонный блок и демонтировать стержень 10, втулку 9, противодействующую пружину 12 и кронштейн 18;

разогреть тонкой газовой горелкой основание сильфона 17, отделить сильфон 11, отделить гнездо 15 от дна сильфона 16;

установить новый сильфон в обратной последовательности, при этом перед пайкой основания сильфона 17 обезжиривают его внутреннюю поверхность ацетоном или бензином;

после сборки сильфонного блока проверить герметичность давлением воздуха согласно существующим нормам: для приборов измерения давления 600 кПа (6 кгс/см²), для сигнализаторов, преобразователей и вторичных приборов 150 кПа (1,5 кгс/см²).

При герметичности сильфона производится его старение с целью получения стабильной характеристики и определения качества ремонта. Старение производится попеременной подачей и сбросом давления краном-переключателем в течение 3 ч с частотой 6—8 раз в минуту. Давление сжатого воздуха при этом равно 400 кПа (4 кгс/см²). После старения прибор собирают, соединяют кинематическую связь поводка с сильфоном, проверяют и настраивают.

Ремонт пружинных приборов. Основными неисправностями пружинных приборов являются износ деталей передаточного механизма, износ пружин, появление в них остаточных деформаций, увеличение зазора в соединениях, неисправности корпуса, стекла, шкалы и т. д.

Перед ремонтом прибор разбирают, осматривают кинематический узел и трубчатую пружину.

Зубчатый сектор 4 (см. рис. 78) не должен иметь следов наклепа и износа зубцов, а непосредственно плата сектора не должна иметь следов деформации. При износе зубцов сектора 4 необходимо его заменить, а деформацию платы сектора устраняют на металлической плите специальным деревянным молотком.

Спиральная пружина 3 должна иметь правильную форму без касания витков. Пружину правят пинцетом с помощью бинокулярной пятикратной лупы.

После замены или ремонта пружину 3 устанавливают в отверстие оси трибки 2 и закрепляют латунной конусной шпилькой. Другой конец пружины закрепляют подобным способом при упоре зуба трибки к правой части сектора. После полной сборки передаточный механизм смазывают часовым маслом.

Деформированную трубчатую пружину выпавшую из держателя газовой горелкой, гнездо зачищают и подготавливают для установки новой пружины. Пайку ведут припоем ПОС-40, ПОС-60 с раствором канифоли в ацетоне (спирте).

При пайке новой пружины обеспечивается ее правильное положение свинцовыми вкладышами или специальным приспособлением. После пайки проверяют ее герметичность. Держатель с трубчатой пружиной 5 устанавливают на пресс и по контрольному манометру подается максимальное расчетное давление пружины. Отсутствие падения давления в течение 5 мин говорит о герметичности прибора.

При ремонте кислородных приборов необходимо тщательно обезжирить рабочую полость прибора и его штуцер, так как в эксплуатации при незначительных включениях масла и его паров происходит резкое окисление кислородом масла, повышается его температура и прибор становится взрывоопасным. Поэтому ремонт и испытание кислородных приборов давления выполняют на рабочем месте, изолированном от других приборов. Приборы проверяют и испытывают на прессе с применением разделительной камеры, которая изолирует рабочую полость манометра от рабочей жидкости в прессе.

Для проверки отсутствия следов масла в рабочую полость прибора вводят 5—10 см³ спирта. Прибор несколько раз встряхивают штуцером вверх, а затем выливают содержимое на поверхность чистой белой бумаги. Если после высыхания спирта на бумаге отсутствуют масляные пятна, то прибор имеет чистую обезжиренную поверхность.

Для поверки манометров после ремонта используют грузопоршневые манометры типов МП-60, МП-600, имеющие классы точности 0,05 и 0,2.

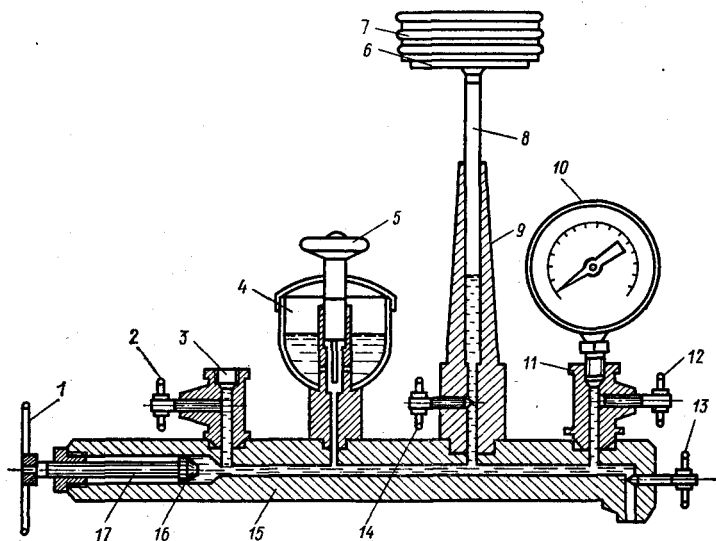


Рис. 210. Грузопоршневой манометр типа МП

Грузопоршневой манометр типа МП (рис. 210) имеет корпус винтового пресса 15 с поршнем 16, который перемещается совместно с винтовым штоком 17 при вращении маховика 1.

Калиброванный шток (поршень) 8 с тарелкой 6 и калиброванными грузами 7 перемещается относительно грузопоршневой колонки 9 за счет давления трансформаторного масла, заливаемого в пресс, при вращении маховика 1.

Трансформаторное масло заливается в воронку 4 при открытом вентиле 5 и выведенном в крайнее левое положение поршня 16, при этом игольчатые вентили 2, 12, 13, 14 должны быть закрыты. При появлении перелива масла в воронке из пресса вентиль 5 закрывают — пресс подготовлен к работе в двух режимах: проверка манометров методом сравнения с показаниями образцового манометра; проверка манометров с помощью калибровочных грузов.

По первому режиму в отборы 3, 11 устанавливают поверяемый и образцовый манометры, открывают вентили 2, 12 и враще-

нием маховика 1 создается давление трансформаторного масла, соответствующее поверяемым отметкам шкалы манометра.

По второму режиму используют калибровочные грузы 7, позволяющие создавать в прессе давление через 50, 100, 500 кПа (0,5; 1,0; 5,0 кгс/см²). Поверяемый манометр 10 устанавливают в отбор 11, открывают игольчатые вентили 12, 14. Маховиком 1 перемещают поршень 8, чтобы он выступал из колонки 9 на треть своей длины.

Начальное давление, равное 100 кПа (1 кгс/см²), создается поршнем 8 с тарелкой 6. Для создания последующих давлений согласно поверяемым отметкам шкалы устанавливают соответствующие калибровочные грузы.

При отсчете показаний поверяемого прибора тарелка 6 для устранения погрешности из-за трения поршня 8 должна вращаться с частотой 30—50 об/мин. Погрешность измерений определяется разностью показаний поверяемого манометра и давления, создаваемого прессом.

При неисправностях и деформациях многовитковых трубчатых пружин отделяют кинематический узел, выпаивают капилляр и отделяют трубчатую пружину от стойки.

Новую пружину свободным концом припаивают к гибкой скобе, соединяющей пружину с ее осью, а неподвижный конец пружины впаивают в демонтированный ранее капилляр. После установки пружины на стойке, ее опаивают и собранный блок соединяют с передаточным механизмом посредством соединительной тяги.

По капилляру через гидравлический пресс подается максимальное рабочее давление, при этом многовитковая пружина манометра должна раскручиваться на угол, равный 50°.

Качество пайки трубки считается удовлетворительным, если в течение 5 мин отсутствует падение давления.

При сборке и настройке самопишущих манометров с многовинтовой трубчатой пружиной необходимо соблюдать следующие требования:

при отсутствии давления на входе в прибор соединительная тяга должна находиться в горизонтальном положении; при отклонении соединительной тяги от заданного положения ее регулируют перестановкой наконечника тяги в одно из отверстий приемного рычага;

осевой зазор (люфт) многовитковой трубчатой пружины должен быть установлен в пределах 0,25—0,5 мм.

Величину зазора регулируют при сборке блока трубчатой пружины за счет изменения положения стойки относительно кронштейна.

Непосредственно секторный передаточный механизм пружинного манометра (см. рис. 78) при ремонте регулируют на плавность перемещения зубчатого сектора 4 по всей его длине, а также на параллельность осей сектора 4 и шестерни (трибки) 2.

При проверке манометров в зависимости от класса точности прибора существуют проверяемые отметки шкалы: класс 1,5; 2,5 — пять точек, класс 4 и т. д. — три точки.

При снятии показаний с поверяемого прибора отсчет производится без постукивания по корпусу манометра, а сама поверка выполняется (в прямом) повышением и (в обратном) понижением измеряемого давления.

Давление, равное максимальному давлению шкалы прибора, выдерживается в течение 15 мин, при котором показания прибора не должны изменяться.

Манометр регулируют и поверяют на специальном прессе. На прессе устанавливают образцовый манометр, класс точности которого должен быть в четыре раза выше класса точности поверяемого манометра. С помощью пресса поднимают давление на манометре согласно контрольным отметкам, которые должны быть равномерно распределены по всей шкале. При поверке погрешность поверяемого манометра на каждой отметке шкалы не должна превышать основной допустимой погрешности. При превышении приведенной погрешности в одной или нескольких точках шкалы манометр регулируют изменением положения поводка 6 относительно хвостовика зубчатого сектора 4, т. е. изменяют передаточное число передающего механизма, которое зависит от отношения перемещения стрелки 1 к перемещению сектора 4.

Существуют следующие методы регулировки манометров при различных характерах погрешностей:

постоянная по величине и знаку погрешность по всей шкале устраняется только перестановкой самой стрелки прибора на соответствующий угол;

пропорциональное изменение погрешности измерений при увеличении давления устраняется изменением плеча r (см. рис. 78,а), причем при положительной погрешности необходимо увеличить плечо r , при отрицательной — уменьшить r ; длину плеча r изменяют перемещением поводка 6 в секторе 4;

превышение погрешности в средней части шкалы устраняют перемещением поводка 6 и изменением угла α .

Нелинейное увеличение погрешности прибора при увеличении давления от 0 до максимального значения устраняют только поворотом передаточного механизма против часовой стрелки, при этом стрелку прибора устанавливают против середины шкалы, а угол α должен составлять ровно 90° . После этого фиксируется положение передаточного механизма и повторно поверяют прибор по контрольным точкам.

Если при установке стрелки против середины шкалы угол α будет меньше 90° — погрешность в начале шкалы отрицательная, убывающая. При угле α больше 90° погрешность в первой половине шкалы будет в пределах допуска, а во второй половине — положительная, возрастающая.

Превышение погрешности в одной-двух отметках шкалы прибора (при соответствии классу точности прибора по всей

шкале) устраняется, как правило, только заменой сектора, имеющего «задир» или неравномерность зубцов сектора.

Если погрешность манометра постоянна по всей шкале, то ее устраняют перестановкой самой стрелки. После ремонта прибора и нанесения клейма поверки на штуцер, устанавливают специальную заглушку, которая предохраняет прибор от попадания масла при его транспортировке и хранении.

У самопишущих приборов проверяется точность перемещения диаграммы и правильность движения пера по линии времени — радиальной дуге диаграммы. При отклонении пера от линии времени в начале и конце шкалы свыше 0,25 мм (не считая толщины пера) производят регулировку положения пера относительно его держателя. Погрешность механизмов привода диаграммы за 24 ч работы для часовых механизмов не должна превышать ± 5 мин, для синхронных электродвигателей ± 15 мин.

Ремонт вторичных пневматических приборов системы «Старт» (см. рис. 90) связан с перетираем (обрывом) лавсановой нити 12, нарушением плотности сильфона 2 (или его остаточной деформацией), а также засорением сопла 4 вследствие плохого качества очистки и осушки сжатого питающего воздуха.

Засоренный канал сопла 4 подлежит очистке специальной иглой из фосфористой бронзы. При обрыве нити 12, необходимо перезавести и установить новую лавсановую нить, проверив и настроив после закрепления нити (при отсутствии давления питания) положение стрелки, соответствующее нулевому значению шкалы.

Сильфон со следами остаточной деформации подлежит замене. После выполнения ремонтных работ на вторичных приборах системы «Старт» проверяют положение измерительной стрелки прибора, при давлении соответствующем нулевому значению шкалы прибора, устанавливаемого по контрольному манометру. При этом стрелка прибора должна установиться на начальной отметке шкалы (диаграммы) с допустимым отклонением $\pm 0,5\%$ диапазона шкалы прибора.

Основная допустимая погрешность на любой отметке шкалы не должна превышать $\pm 2\%$ от верхнего предела измерения прибора.

Шкалы приборов могут быть выражены по стандартным рядам в единицах измерения давления, перепада давления, температуры и т. д. Для проверки равномерности показаний прибора по всей шкале проводят стендовую поверку прибора.

Шкала, %	0	20	40	60	80	100
Давление на выходе:						
кПа	20	36	52	68	84	100
кгс/см ²	0,20	0,36	0,52	0,68	0,84	1,00
Давление на выходе при 20°C:						
кПа	19,6	35,4	51,1	66,8	82,4	98,2
мм рт. ст.	147,6	265,7	383,9	502,0	620,1	738,2

Наладка бесшкальных преобразователей давления типа МЭД. Перед установкой прибора МЭД на объект необходимо проверить значение выходного сигнала при нулевом значении измеряемого давления, т. е. проверить «нуль» прибора.

Данную проверку проводят с помощью магазина комплексной взаимной индуктивности типов Р-5017, Р-5017/2 по схеме (рис. 211). При нулевом значении измеряемого давления и значении выходного сигнала, указанного в таблице, уравнивают электрическую схему с помощью поворотов курбелей «М» и «Мо» для манометров и вакуумметров и курбеля «М» для мановакуумметров. При этом положение курбеля «Мо» устанавливается при подаче в прибор вакуумметрического давления, равного верхнему пределу измерений, и в дальнейшем не изменяется.

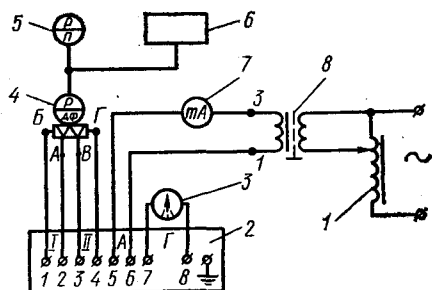


Рис. 211. Схема проверки преобразователя типа МЭД:

1 — лабораторный автотрансформатор, 2 — магазин комплексной взаимной индуктивности, 3 — вибрационный гальванометр, 4 — преобразователь МЭД, 5 — образцовый (контрольный) прибор, 6 — устройство для создания давления, 7 — миллиамперметр класса точности не более 0,5, 8 — питающий трансформатор

(для мановакуумметров) производится корректировка «нуля» перемещением сердечника дифференциального трансформатора. Для этого требуется расконтрить гайку 9 (см. рис. 88) и повернуть винт 10, связанный с сердечником 8 дифференциального трансформатора. После установки «нуля» прибора гайку 9 необходимо законтрить.

При изменении входного давления на преобразователь типа МЭД от нулевого до максимального значения измеряемого давления (разряжения) ход плунжера составляет от 2 до 5 мм, что соответствует изменению взаимной индуктивности прибора в пределах 10—0—10 мГн.

Основные неисправности прибора:

отсутствие выходного сигнала прибора при изменении давления на входе. Данная неисправность возможна при отключении питания в первичной цепи, обрыве в линии питания вторичного прибора или катушке дифференциального трансформатора;

стрелка вторичного прибора уходит в одно из крайних положений или занимает произвольное положение. Для устранения неисправности необходимо проверить линию связи и правильность ее подключения;

увеличенная вариация показаний возникает при затираниях сердечника дифференциального трансформатора прибора, в механической схеме или низкой чувствительности вторичного прибора;

повышенная погрешность прибора вызывается старением упругого чувствительного элемента. Неисправность устраняется новой установкой «нуля» прибора и его тарировкой.

Тарировку производят при изменении давления на входе в прибор и определении выходного сигнала прибора.

Измеряемое давление (%)					
от верхнего предела измерения прибора)	0	25	50	75	100
Выходной сигнал, мГн	0	2,5	5,0	7,5	10,0

Ремонт и настройка приборов с пневмывыходом системы ГСП типов НС-П, МС-П, ВС-П, ДС-П. При отсутствии выходного сигнала прибора необходимо проверить пневматическую линию питания и прочистить или сменить фильтр или дроссель пневмореле.

Если выходной сигнал давления нестабилен и занижен требуется определить засорение дросселя пневмореле. При этом выворачивают дроссельный винт и прочищают капиллярную трубку специальной иглой.

При засорении сопла или отвертывании дросселя пневмореле нарушается диапазон настройки, прибор имеет завышенное значение выходного сигнала. Для устранения такой неисправности необходимо прочистить сопло специальной иглой, завернуть дроссель, а затем отрегулировать диапазон настройки.

Неисправность демпфера определяется по нестабильности выходного сигнала. Для устранения затирания демпфера следует визуально проверить зазор между стаканом и поршнем демпфера и настроить такое положение поршня, чтобы со всех сторон был одинаковый постоянный зазор, при котором при постоянном входном давлении и повороте стакана до одного оборота выходной сигнал имел бы постоянное значение.

Нестабильность значений выходного сигнала может возникать при ослаблении крепления измерительного блока с преобразователем, ослаблении резьбовых соединений в преобразователе и измерительном блоке, рычагов в преобразователе.

После устранения неисправностей прибор подготавливают к работе.

Для заправки демпфера кремнийорганической жидкостью типа ПМС необходимо отпустить стопорный винт, вывернуть стакан демпфера и заполнить его необходимой жидкостью до уровня 12—13 мм от верхней кромки стакана. После этого стакан ввертывают в колодку и фиксируют стопорным винтом.

Зазор между упорами и Т-образным рычагом преобразователя (см. рис. 84) настраивают в пределах 0,3—1 мм, предварительно ослабив фиксирующие гайки. Сначала регулируют правый, затем левый упоры. Левый упор выворачивают до изменения выходного сигнала, затем упор вывертывают на один оборот и его положение закрепляют фиксирующей гайкой.

При настройке пневмосиловых преобразователей выходной сигнал, соответствующий нулевому (начальному) значению измеряемого давления определяется по табл. 21.

Настройка преобразователя на требуемый диапазон измерений производится в два этапа — грубо и точно.

При снятом кожухе с помощью корректора нуля устанавливают значение выходного сигнала преобразователя, соответствующее нулевому или начальному значению измеряемого давления.

Затем производят грубую настройку диапазона измерений. Поднимают измеряемое давление до верхнего предела измерений.

Если при увеличении измеряемого давления выходной сигнал достиг предельного значения, а измеряемое давление не достигло еще верхнего предела измерений, то преобразователь регулируют перемещением вверх опоры 5 вдоль Г-образного рычага 3 (см. рис. 85).

Если при увеличении измеряемого давления до верхнего предела измерений выходной сигнал не достигнет предельного значения, то подвижную опору 5 необходимо переместить вниз.

Точная настройка диапазона производится поворотом кольца 1. Для этого винт 4 слегка отпускают, а после регулировки кольца — стопорят.

Корректором нуля устанавливают значение выходного сигнала, равное 2,0 кПа ($0,2 \text{ кгс/см}^2$). Если при увеличении измеряемого давления до верхнего предела измерений выходной сигнал меньше 10 кПа (1 кгс/см^2) — кольцо поворачивается вправо, если выходной сигнал больше 10 кПа (1 кгс/см^2) — влево. При этом поворот кольца на 60° соответствует изменению диапазона измерений примерно на 0,5%.

При возникновении автоколебаний выходного сигнала давления требуется настроить работу демпфера, отвертывая или заворачивая стакан демпфера на 2—3 оборота, не допуская упора поршня демпфера о дно стакана.

Настройка приборов-датчиков с унифицированным пневмосиловым преобразователем типа ГСП. При измерении давления менее заданного начального значения пружина 6 (см. рис. 85) корректора нуля прижимает рычаг 2 преобразователя к упору 4 и выходной сигнал датчика остается менее 20 кПа ($0,2 \text{ кгс/см}^2$).

При равенстве измеряемого давления и давления задания рычаг 2 отходит от упора и выходной сигнал давления равен 20 кПа ($0,2 \text{ кгс/см}^2$).

При увеличении измеряемого давления выходной сигнал преобразователя изменяется пропорционально изменению давления.

С помощью корректора нуля настраивают требуемое значение выходного сигнала.

Выходной сигнал пневмопреобразователей системы ГСП, соответствующий нулевому или начальному значению измеряемого давления, устанавливается согласно табл. 21.

Автоколебания выходного сигнала устраняют откручиванием или закручиванием стакана демпфера на 2—3 оборота в ту или иную сторону. Необходимо следить за тем, чтобы поршень не упирался в дно стакана, что обнаруживается по резкому возрастанию

выходного сигнала, не уменьшающемуся после регулировки демпфера. Если поршень упирается в дно стакана, требуется его отвернуть на 1—2 оборота.

§ 7. Ремонт приборов для измерения уровня

Ремонт поплавковых и буйковых приборов. Отказ сигнальных устройств приборов данной группы возможен при неисправности переключателей типа МП, понижении сопротивления изоляции, а также обрыве неисправности тросовых и рычажных систем.

Сопротивление изоляции микропереключателей проверяется мегомметром типа М1001, при этом величина сопротивления должна быть не менее 1 МОм.

Микропереключатели с неисправным перекидным устройством, а также имеющие следы коррозии подлежат замене.

Неисправности тросовых и рычажных систем устраняют заменой тросов или рычагов; после настройки диапазонов срабатывания сигнальных устройств блоки, рычаги, тросы и ограничители хода смазывают смазкой типа УС или ЦИАТИМ.

Уровнемер типа УДУ-5 имеет механизм проверки зацепления мерной ленты. Он позволяет контролировать работоспособность прибора методом проверки зацепления перфорированной ленты с мерным шкивом, а также определить обрыв ленты и ее заклинивание.

Если при повороте рукоятки механизма привода определяется усилие по поднятию поплавка и при этом происходит поворот отсчетного механизма с изменением показаний счетного механизма, то лента привода исправна.

Срыв ленты с перфоратора зацепления определяется по отсутствию усилия при поднятии привода и отсутствию изменения показаний при повороте механизма проверки.

Прибор УДУ-5 настраивают на рабочей емкости (резервуаре) с заполненной контролируемой жидкостью. Уровень жидкости измеряется вначале с помощью любой меры длины, затем на отсчетном механизме прибора, плавно вращая ручку барабана отсчетного устройства, устанавливают определенный результат. Данная операция производится при снятии с барабана стопорной гайки, после выставления отсчета необходимо снова затянуть гайку.

Перед эксплуатацией прибора в дистанционную приставку заливают сухое трансформаторное масло, уровень которого контролируется специальной комбинированной пробкой со щупом.

Отказы в работе прибора возникают, как правило, зимой вследствие заклинивания шкивов мерной ленты, образования оледенения в дистанционной приставке вследствие некачественного масла, имеющего следы влаги.

Ряд контролируемых по уровню объектов (цистерны, мокрые газгольдеры, танки) оборудованы обогревом — паром или горячей водой. Такие условия работы для приборов типа УДУ-5 являются наиболее тяжелыми: на реохорде, токосъемных кольцах, щетках появляется конденсат и элементы прибора корродируют.

Для поддержания работоспособности прибора необходимо регулярно, раз в месяц, чистить приставку и заменять регенерированное масло.

Причинами отказа уровнемера с пневмовыходом типа УБ-П являются нарушения плотности импульсных линий питания, малое давление питания прибора, неисправности демпфера, засорение пневмореле и т. д.

Отсутствие выходного пневматического сигнала прибора проявляется при засорении дросселя пневмореле или неисправности (обрыве или засорении) линии питания.

Неплотности линии питания проверяют методом «обмыливания» соединений или пневмоиспытанием. Засорение дросселя 9 пневмореле (см. рис. 83) устраняют прочисткой специальной иглой или заменой дросселя.

Завышенный выходной пневмосигнал в приборе появляется при засорении сопла пневмореле, которое устраняется прочисткой.

Наиболее серьезной неисправностью прибора является нестабильность выходного сигнала. Она может появиться при целом ряде таких причин, как затирание успокоителя — демпфера, механическом ослаблении крепления измерительного блока с преобразователем, ослаблении резьбовых соединений в измерительном блоке и преобразователе, а также нарушении установки ленточных опор рычагов преобразователя.

Вначале осматривают пневмопреобразователь и определяют слабые места соединений. Затем подтягивают болты и гайки крепления стойки Т-образного рычага и узла измерительного блока, а также накидные гайки в резьбовых пневмосоединениях.

Затирание демпфера определяется по зазору между поршнем и стаканом демпфера. Положение поршня настраивается таким образом, чтобы зазор по образующей стакана был равным. При этом при постоянном входном давлении и повороте станка до одного оборота выходной сигнал должен иметь постоянное значение.

Ремонт и регулировка емкостных уровнемеров. Основными неисправностями данных приборов являются выход из строя блока питания, высокочастотного генератора, а также других элементов электрической схемы приборов.

Схему ремонтируют согласно технической документации, номиналов элементов схемы и т. д.

Проверка работоспособности и настройка уровнемера типа ЭИУ-2 производится на рабочем объекте с заполненным контролируемым уровнем.

При сливе уровня до нижней отметки устанавливают стрелку вторичного прибора М325 или потенциометра КСП на нулевую отметку вращением подстроечного конденсатора С9 (см. рис. 127). При полном заполнении уровня производят подстройку стрелки показывающего прибора на максимум шкалы вращением оси переменного резистора R11.

В зависимости от диапазона изменения емкости датчика прибор ЭИУ-2 имеет три диапазона 0—300, 0—600, 0—1200 пФ.

Изменение диапазонов измерения производится методом переключения переключки между контактом 1 и контактами 2—5 конденсаторов *C7—C11*.

Электронный блок с датчиком соединяются радиочастотным кабелем.

Для периодической проверки правильности показаний прибора необходимо иметь контрольную емкость в пределах 200—300 пФ, (эквивалент датчика). При отключенном датчике к радиочастотному кабелю и земле подключают данный эквивалент и фиксируют показания прибора.

Производя проверку данным методом и обнаружив расхождение показаний, ручкой резистора *R11* устанавливают фиксированное эталонное показание. При отсутствии генерации сигналов высокочастотного генератора выполняют проверку *L—C* контура; в случае выхода из строя транзистора *ПП1* его заменяют в схеме.

В емкостных уровнемерах типов МЭСУ и ЭСУ наиболее характерными неисправностями являются:

1. Выход из строя высокочастотного генератора — лампа «Уровень» при касании контролируемой среды электродом датчика не загорается и не происходит переключения реле *P1* (см. рис. 129,б).

Вышедшая из строя лампа генератора 6Н16Б подлежит замене.

2. Неисправность реле *P1* определяется: а) по постоянно горящей лампе «Уровень» — это происходит при «залипании» контактов реле *P1*, которые подлежат чистке и настройке; б) по отсутствию срабатывания лампы «Уровень» при касании контролируемой среды электродом датчика.

В этом случае необходимо проверить и прочистить контактные группы реле *P1*, а при повторных отказах заменить реле.

3. При понижении сопротивления изоляции датчика менее 50 МОм постоянно горит лампа «Уровень».

Необходимо прочистить, просушить датчик или заменить его.

§ 8. Ремонт приборов для измерения расхода

Ремонт расходомеров постоянного перепада — ротаметров типов РС, РИ, РМ заключается в проверке плотности соединений, чистке поплавка и стекла ротаметра. Поплавки и стекла, имеющие трещины и задиры, заменяют на новые. После ремонта определяют расходную характеристику прибора и составляют его паспорт.

Расходомеры переменного перепада ремонтируют в комплекте датчик — вторичный прибор. Основными неисправностями расходомеров являются:

заниженные или завышенные показания прибора из-за неплотности соответственно на «плюсе» или «минусе» дифманометра;

полное отсутствие чувствительности прибора при изменении перепада на дифманометре;

неисправность электронного прибора;

большая погрешность измерений расхода из-за разрегулировки комплекта дифманометр — вторичный прибор.

Для определения неплотностей и мест утечек комплект проверяют на специальном стенде. При подаче избыточного давления воздуха (в зависимости от рабочего предела дифманометра) методом обмыливания находят утечки в плюсовом, минусовом и уравнительном вентилях. Более эффективным методом отыскания негерметичностей прибора является использование теческатолей типов ГТИ, ПТИ и др. При обнаружении утечек сальники вентиляей подтягивают накидной гайкой;

если утечка не ликвидируется, сальник заменяют на новый с асбографитовой набивкой.

Основными неисправностями дифманометров типа ДМ являются: вытекание жидкости из мембранных блоков, забивка отверстий, отборов давления к камерам прибора, неплотность запорных вентиляей, «затираия» сердечника относительно внутренней полости разделительной трубки.

Вытекание жидкости из мембранного блока приводит к потере чувствительности прибора от измеряемого перепада давления. Для замены мембранного блока необходимо выполнить следующие работы (см. рис. 106): вывернуть крепеж и снять колпак 10 с индукционной катушкой 5, отпаять выводы с разъема, снять индукционную катушку 5, вывернуть штуцер крепления разделительной трубки 11, вынуть разделительную трубку, специальным профильным ключом вывернуть гайку крепления сердечника дифтрансформатора, вывернуть накидные штуцера а, б крепления импульсных трубок «+» и «—», снять стяжные болты верхней и нижней крышек датчика, разобрать корпус и вынуть мембранный блок.

Сборку дифманометра производят в обратной последовательности. После сборки дифманометр испытывают на герметичность и механическую прочность.

Герметичность проверяется при подаче на вход прибора максимального рабочего перепада давления. Затем давление отсекается запорной арматурой на 5 мин и по показанию образцового манометра проверяют отсутствие падения давления.

Прибор выдерживает испытание на герметичность, если показания образцового манометра за указанное время не изменяются.

Испытания на механическую прочность проводятся при подаче на прибор в течение 10 мин полуторакратного максимального рабочего давления, указанного в паспорте на прибор.

Если при исправном дифманометре возникает большая погрешность измерений расхода, то требуется отрегулировать комплект дифманометр — вторичный прибор: регулировкой «нуля» дифманометра, регулировкой «нуля» шкалы вторичного прибора, коррекцией «нуля» дифманометра, регулировкой «предела» шкалы вторичного прибора.

Комплект следует регулировать в такой последовательности: на вторичном приборе при нажатой кнопке «Контроль» регулировкой «нуля» прибора добиваются перемещения и установки измерительной стрелки на контрольную точку шкалы;

В датчике типа ДМ регулировка «нуля» дифманометра производится перемещением катушки относительно сердечника; в датчиках колокольного типа ДКО — перемещением сердечника относительно катушки дифференциального трансформатора;

корректор «нуля» дифманометра устанавливают в нейтральное положение при закороченной вторичной обмотке датчика; при этом стрелка прибора должна подойти к контрольной точке шкалы;

при подаче на вторичный прибор сигнала, соответствующего контрольной точке, производится регулировка «нуля» датчика до тех пор, пока стрелка прибора не установится на контрольную точку шкалы;

регулировкой «предела» шкалы вторичного прибора добиваются соответствия положения стрелки и входных сигналов, соответствующих началу и концу шкалы.

В зависимости от типов вторичных приборов и дифманометров контрольная точка на приборе устанавливается на 30 или 70% длины шкалы.

Неисправности вторичных электронных приборов — расходомеров — аналогичны описанным неисправностям электронных мостов и потенциометров.

Прибор типа КСД-3 проверяют с помощью магазина взаимной индуктивности типа Р5017 класса 1 или 2 (после включения и прогрева прибора в течение 2 ч). Схема проверки прибора КСД-3 представлена на рис. 212.

Параметры магазина Р5017 при проверке прибора типа КСД-3

Угол потерь	6°18'	6°18'	8°02'	8°02'
Устанавливаемое значение аргумента комплексного сопротивления первичной цепи	φ'_1	φ''_1	φ'_1	φ''_1

Первоначально устанавливают на магазине нулевое значение взаимной индуктивности и на приборе при нажатии кнопки КН «Контроль» (см. рис. 116) измерительная стрелка прибора III и перо не должны смещаться от «нуля».

При смещении стрелки прибора относительно «нуля» необходимо с помощью сопротивления R9 установить правильное положение стрелки на нулевую отметку шкалы прибора.

При неправильной установке лекала и стрелочного указателя указатель при изменении значения сопротивления R9 может не установиться на «нуль». Поэтому при включенном напряжении

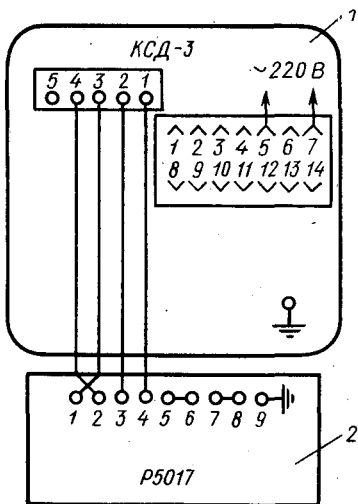


Рис. 212. Схема проверки прибора КСД-3:

1 — прибор типа КСД-3, 2 — магазин комплексных взаимных индуктивностей типа Р5017

необходимо поставить подвижную систему прибора измерительная стрелка — ротор двигателя Д в крайнее левое положение, соответствующее начальной отметке шкалы — «0», а затем закрепить указательную стрелку прибора точно на отметку механического нуля, соответствующую контрольной отметке.

При включении напряжения на прибор поворотом слегка отпущенного лекала установить указатель прибора против начальной числовой отметки шкалы прибора.

При изменении взаимной индуктивности на магазине проверяется погрешность прибора по поверяемым отметкам шкалы 30, 60, 90 и 100% шкалы.

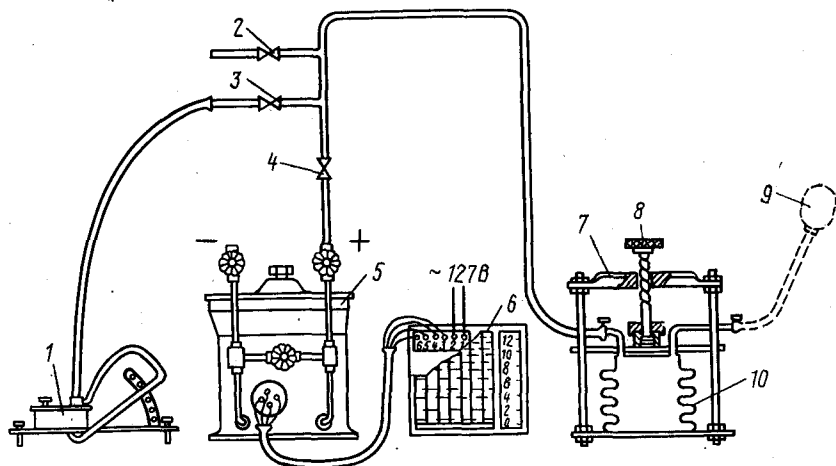


Рис. 213. Схема проверки колокольного дифманометра:

1 — образцовый прибор ММН, 2, 3, 4 — краны, 5 — поверяемый дифманометр, 6 — вторичный прибор, 7 — пресс, 8 — ручка, 9 — груша, 10 — сильфон

После устранения неисправностей комплекта расходомера прибор поверяют по контрольным точкам методом сравнения показаний ремонтируемого прибора с образцовым. Перепад давлений согласно расчетным данным прибора подается на ремонтируемый дифманометр и образцовый прибор; методом сличения показаний определяется погрешность прибора при значениях расхода, равных 30, 40, 50, 60, 80 и 100%, в прямом и обратном направлениях. Погрешность отремонтированного прибора не должна превышать основной погрешности, указанной в заводском паспорте.

На рис. 213 показана схема поверки расходомера переменного перепада — колокольного дифманометра. Схема включает образцовый микроманометр типа ММН для определения величины перепада давлений, подаваемого в дифманометр 5 посредством сильфонного пресса 7. На выход дифманометра подключен вторичный электронный прибор. Вращением ручки 8 винта сильфонного пресса создаются необходимые перепады давлений для поверки расходомера, соответствующие значениям 30, 40, 50, 60, 80 и 100% расхода в прямом и обратном направлениях (табл. 22).

Разница в показаниях образцового прибора ММН и вторичного электронного прибора дает значение погрешности.

При отсутствии образцового прибора используется U-образный контрольный манометр (см. рис. 73) с ртутным или водяным наполнением в зависимости от рабочего перепада поверяемого дифманометра.

При этом класс точности контрольного дифманометра должен быть в три раза выше класса точности поверяемого прибора.

При подготовке поплавкового дифманометра типа ДП к работе необходимо в прибор залить ртуть. Такие работы проводят в специальных помещениях, имеющих приточную и вытяжную вентиляцию.

Для заливки ртути в прибор надо вывернуть пробку с арретиром из крышки поплавкового сосуда, а также освободить лекало и щуп от фиксаторов-арретиров. Ртуть заливают в дифманометр из баллона. Слегка отвернув нижнюю пробку в сообщающейся трубке прибора, проверяют всплытие предохранительного клапана. Если ртуть подтекает через пробку, то клапан всплывает, при этом воздух проникает в поплавковый сосуд. Если клапан не всплывает, то нужно завернуть пробку, закрыть уравнильный вентиль дифманометра и при открытии «плюсового» вентиля плавно подать на сменный сосуд давление в пределах 13,3—26,2 кПа (100—200 мм рт. ст.).

Если показания прибора не укладываются в табличные данные, то необходимо произвести корректировку положения лекала. При завышенных показаниях лекало поворачивают против часовой стрелки, при заниженных — по часовой.

Для разворачивания лекала необходимо ослабить стопорные винты крепления. После правильной установки лекала нужно вновь закрепить стопорные винты.

Если при поверке прибора по контрольным точкам стрелка отстает или опережает показания на всех точках диаграммы на постоянную величину, то это свидетельствует о неправильном уровне ртути в приборе.

Если показания отстают, необходимо уменьшить уровень ртути, если показания увеличиваются — увеличить уровень ртути.

Данная неисправность может быть также при неправильной установке измерительной стрелки прибора. Стрелку прибора устанавливают на нуль при ослаблении винта колодки.

При негерметичности (утечках давления) «плюсового» вентиля прибора наблюдаются заниженные показания прибора; при потере плотности «минусового» вентиля прибор имеет завышенные показания. Негерметичность уплотнительной муфты также вызывает заниженные нестабильные показания.

Неплотности в «плюсовом», «минусовом» и уравнильном вентилях устраняют подтягиванием гайки сальника. Если гайка подтянута полностью, а неплотность не устранена, необходимо заменить асбографитовый сальник и прокладки. Перед ремонтом поплавковых дифманометров необходимо произвести их подготовку

для определения характера неисправности и необходимых деталей (см. рис. 105).

Для капитального ремонта прибора необходимо: очистить прибор, слить ртуть в специальные груши, открепить лекало и втулки, снять лекало, снять механизм и корпус прибора, снять сообщающую трубку прибора, снять крепление магнитной муфты и развернуть муфту на 90° по часовой стрелке, отсоединить поплавков от оси сектора магнитной муфты, снять магнитную муфту и поплавков.

После проверки и ремонта магнитной муфты, поплавок, уплотнительной муфты сборку прибора выполняют в обратной последовательности.

При обнаружении неплотности уплотнительной муфты проверяют и заменяют ее прокладки, а масленку муфты набивают смазкой следующего состава: 65—66% вазелина, 17—18% графита, 11% тавота, 5% резинового клея.

Неисправности сигнального устройства проверяют согласно электрической схеме прибора (см. рис. 104).

Отсутствие срабатывания реле *P1* и *P2* и их выходных сигнальных групп может быть вызвано следующими причинами: перегоранием ламп подсветки *Л4*, *Л5*; неисправностью фотосопротивлений типа ФСК-4, выходом из строя соответствующего транзистора *ПП1* или *ПП2*, неисправностью реле *P1* или *P2* или залипанием их перекидных контактов в цепи сигнализации.

Вышедшие из строя элементы подлежат замене. После проверки схемы при включении напряжения неоднократно перемещением стрелок-задатчиков относительно измерительной стрелки прибора проверяют четкость срабатывания реле *P1*, *P2* и их выходных контактов на разъеме *Ш1*.

§ 9. Ремонт анализаторов газов и жидкостей

Автоматические анализаторы газов и жидкостей являются довольно сложными приборами, ремонт которых производится под руководством высококвалифицированных специалистов-ремонтников.

Основными характерными причинами отказов анализаторов являются: превышение допускаемой концентрации измеряемых газов, проскоки на датчик вредных компонентов (влаги, щелочей, кислот, органических соединений и т. д.), неправильная эксплуатация блоков подготовки газов — ГОУ (газоочистных устройств), неисправность вторичного регистрирующего электронного прибора; неисправность схем питания; неисправность датчика и схемы электронного блока.

Ремонт вторичных приборов — электронных мостов и потенциометров, используемых в комплектах анализаторов, описан в гл. IV, § 4. При отыскании неисправностей в блоках питания, электронных блоках и датчиках используют ампервольтметры Ц-435, Ц-4315, ламповые вольтметры и осциллографы, позволяющие определять неисправности по данным заводских инструкций и картам сопротивлений и напряжений в схемах.

Например, в газоанализаторе типа МН неисправность схемы приемника (см. рис. 136) определяют следующим образом:

при включении напряжения приемника проверяют напряжение сети, выходное напряжение стабилизатора и напряжение питания мостовых измерительных схем, которые должны соответственно составлять: в сети — 220 В, на контактах 1—2 разъема Ш2 — 127 В, на контактах 6—7, 8—9 клеммника К1 — 24 В;

при отключении приемника от сети с помощью тестера Ц-435 проверяют элементы электрической схемы приемника, в том числе резисторы и плечевые элементы рабочего I и сравнительного II мостов (см. рис. 133). Резисторы, вышедшие из строя, подлежат замене, согласно их номиналам и типам. При обрывах и неисправностях плечевых элементов (сопротивление $R1—R4$) выполняют разборку приемной камеры-датчика (см. рис. 134). Для этого откручивают четыре винта, крепящие верхнюю латунную крышку 5, снимают крышку и уплотняющие резиновые прокладки. Затем осторожным пошатыванием вверх вынимают неисправный чувствительный элемент 2 (стеклянный капилляр с вплавленной платиновой проволокой) из специального держателя 1 с токоподводами. После установки нового заводского элемента сборку камеры ведут в обратном порядке с заменой резиновых прокладок.

Работоспособность отремонтированного прибора проверяют после проверки плотности приемной камеры датчика по контрольным газовым смесям. Если показания газоанализатора отличаются от данных контрольной газовой смеси, то необходимо отрегулировать чувствительность приемника резистором $R16$ до соответствия показаний прибора паспортным данным контрольной газовой смеси (см. рис. 136).

Газоанализатор проверяют по двум контрольным смесям, соответствующим 20—30 и 60—80% рабочей шкалы прибора.

Для газоанализаторов типа ТП, МН, ТХГ необходимо строгое соблюдение синфазности напряжения, питающего блок питания и вторичный прибор. Если фазы питающего напряжения различные, то газоанализатор не поддается настройке и регулировке, а стрелка вторичного прибора резко уходит в одно из крайних положений (минимум или максимум шкалы).

Правильность фазировки проверяют вольтметром переменного тока или комбинированным прибором типов Ц-56, Ц-4312 и др.

При правильной фазировке вольтметр, включенный на фазы питающего напряжения между блоком питания и вторичным прибором, будет иметь нулевые показания (разность напряжений между одноименными фазами равна нулю). При неправильной фазировке вольтметр, включенный таким же способом, будет иметь показания $U=380$ В.

Ремонт и проверка газоанализаторов типов ТП, ТХГ и ОА в основном подобны ремонту прибора МН и отличаются лишь изменениями, связанными с конструкциями датчиков и электрических схем приборов.

Ввиду сложности электрических схем кулонометрических измерителей микроконцентраций влажности типов КИВГ, «Байкал», «Кулон» и анализаторов запыленности воздуха и газов типов АЗ-4, АЗ-5 их ремонт не рассматривается. Основными неисправностями таких приборов являются неплотности газовых схем приборов и их импульсных линий. Например, неплотности в газовых схемах датчиков могут возникнуть при плохом креплении чувствительных элементов, находящихся в одном стеклянном корпусе.

Герметичность газовой схемы проверяют с помощью образцового манометра с пределами измерений 0—0,4 МПа (0—4 кгс/см²), включенного в газовую схему прибора с заглушенным выходом. При подаче, а затем отсечке осушенного газа давлением 0,3 МПа (3 кгс/см²) падение давления за 20 мин испытаний должно полностью отсутствовать.

Если подтяжка накидных гаек не устраняет утечки, то требуется заменить импульсную трубку, предварительно проверив качество ее вальцовки.

Операции, связанные с устранением неплотностей в измерителях влаги в газах, являются довольно трудоемкими и требуют от слесарей-ремонтников КИПиА высоких производственных навыков и знания всех элементов газовой схемы.

При эксплуатации, наладке и ремонте газоанализаторов одним из методов определения их работоспособности, а также метрологической поверке является проверка газоанализаторов по поверочным газовым смесям (ПГС), поставляемых баллонами малой емкости газовыми заводами.

Газоанализаторы проверяют по трем точкам шкалы — начало, середина и конец шкалы.

Указанные ПГС подаются по газовому тракту газоанализатора, при этом необходимый паспортный расход газа (42 л/ч) контролируется и регулируется ротаметром типа РС-3А (расходомером), установленным в газовой схеме прибора.

Если после продувки ПГС через датчик в течение 3 мин показания прибора отличаются от паспортных значений ПГС, то необходимо произвести корректировку показаний согласно заводской инструкции на газоанализатор, так, в газоанализаторе типа МН-5130 корректировка производится переменным резистором R9 (см. рис. 136).

Наладка газоанализатора типа МН-5130. В приборе типа МН-5130 для поверки «нуля» прибора в приемнике установлен магнитный шунт, ручка которого выведена сверху магнитной системы.

Для поверки «нуля» газоанализатора необходимо, вращая ручку шунта против часовой стрелки, опустить магнитный шунт до упора. При опускании шунта магнитные полюса замыкаются, магнитное поле над чувствительными элементами «выключается», вследствие этого отсутствует взаимодействие магнитного поля с кислородом в анализируемом газовом потоке. Поэтому стрелка

регистрирующего прибора должна установиться на красной отметке шкалы, соответствующей началу шкалы прибора.

Если стрелка прибора не устанавливается на «нуль», следует ослабить гайку цангового зажима нулевого реостата R_9 (см. рис. 136) и выставить «нуль» прибора.

После поверки «нуля» необходимо поднять магнитный шунт, вращая его ручку до отказа по часовой стрелке.

Для определения работоспособности кислородных газоанализаторов типа МН со шкалами 0—21, 15—21, 15—30, 20—80% кислорода в качестве поверочной газовой смеси можно использовать воздух, так как он содержит 20,8—21,0% кислорода.

Если через газовую схему прибора пропустить воздух с заданным расходом 42 л/ч, то вторичный регистрирующий прибор должен зафиксировать показания, равные 21% кислорода (O_2).

Если газоанализатор МН не поддается регулировке и настройке по указанной методике, необходимо произвести поверку приемника по карте напряжения (табл. 23) и схеме (см. рис. 136).

Необходимым условием при наладке и эксплуатации газоанализатора типа МН является строгая синфазность питания датчика, блока стабилизированного напряжения и вторичного регистрирующего прибора. При нарушении синфазности (питании элементов газоанализатора от разных фаз питающей сети) прибор наладке не поддается, а стрелка вторичного прибора резко уходит в одно из крайних положений шкалы.

Газоанализатор градуируют с учетом сопротивления проводов линий связи измерительной схемы, т. е. 2,5 Ом на каждый провод. Для подгонки сопротивления линии связи служат подгоночные катушки (методика подгонки сопротивления линии связи изложена в гл. IV, § 4).

Поверка исправности электронного регистрирующего прибора типа КСМ-2 для газоанализатора МН производится при отключенном датчике. Для этого собирают схему (рис. 214), включающую кроме поверяемого прибора два магазина сопротивления типа Р-33 (R_3 — R_4) с номиналом 30 кОм.

Методика поверки заключается в изменении величины сопротивления магазинов R_3 и R_4 через 1 Ом, с тем чтобы сумма их значений оставалась постоянной, равной 95 Ом, т. е. $R_3 + R_4 = 95$ Ом. При этом регистрируются показания поверяемого электронного прибора.

Вначале необходимо подобрать величину R_3 в пределах 4—8 Ом, с тем чтобы стрелка электронного прибора установилась на начальной отметке шкалы. При этом требуется на магазине

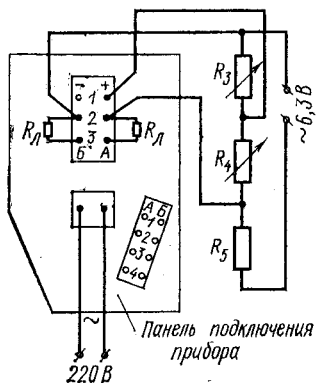


Рис. 214. Схема для проверки электронного моста типа КСМ

сопротивления R_4 выставить значение сопротивления $R_4 = R_5 - R_3$. Фиксируется значение R_3 . Затем магазинами R_3 и R_4 выставляют подобным способом стрелку электронного прибора на конечную отметку шкалы. Фиксируется значение R_4 .

Для исправного прибора при одновременном изменении сопротивлений R_3 , R_4 на 1 Ом (при этом $R_3 + R_4 = 95$ Ом) показания по шкале прибора должны изменяться на 0,8—1% от разности значений начала и конца шкалы прибора.

Ремонт газоанализатора типа ТХГ-5. 1. Определение и регулирование заданной температуры датчика в пределах $200 \pm 5^\circ\text{C}$ производится с помощью прилагаемой к прибору термопары (термоэлектрического термометра) хромель — копель.

Указанную термопару устанавливают через крышку датчика в специальное отверстие, подключают к милливольтметру или потенциометру подобной градуировки (гр. ХК) и по шкале прибора определяют значение температуры датчика.

Если при температуре окружающей среды (20 ± 2) $^\circ\text{C}$ температура корпуса выходит из заданного предела (200 ± 5) $^\circ\text{C}$, необходимо переменным резистором R_1 (см. рис. 144), установленным в блоке индикации, подрегулировать ее значение.

При этом необходимо иметь в виду инерционность (большое время запаздывания) датчика, так как он имеет специальную тепловую защиту. Поэтому после регулировки необходимо несколько раз проверить установившееся значение температуры.

2. Для достоверности показаний газоанализатора необходимо проверить и настроить ток мостовой схемы.

К клеммам «ток» параллельно резистору R_{10} (см. рис. 144) подключают милливольтметр постоянного тока (предел измерения 0—50 мА) или потенциометр типа ПП-63.

Если измеренный ток не соответствует ($20 \pm 0,1$) мА, необходимо установить заданное значение переменным резистором R_5 «Ток».

3. Поверка «нуля» прибора производится подачей на вход газовой схемы прибора (см. рис. 143) поверочной газовой смеси (ПГС), не содержащей определяемого газового компонента. Расход газовой смеси через датчик определяется по ротаметру (расходомеру), имеющему контрольную предельную отметку расхода. ПГС пропускают через датчик до установления постоянных показаний на регистрирующем приборе.

Если показания прибора не выходят на «нуль» — начальную отметку шкалы, необходимо скорректировать «нуль» переменным резистором R_8 (см. рис. 144).

4. Настройку «конца шкалы» прибора производят по второй контрольной газовой смеси, у которой содержание определяемого газа лежит в пределе максимального значения шкалы поверяемого прибора.

Если показания прибора отличаются от паспортного значения поверочной газовой смеси, то корректировка «конца шкалы» прибора производится переменным резистором R_{11} «Шкала».

Наиболее характерной неисправностью газоанализатора является потеря активности палладиевого катализатора вследствие проскока в датчик влаги, паров щелочей, кислот и хлора.

Катализатор заменяют после разборки датчика. Для этого снимают крышку и корпус датчика с основания и защитный термостойкий кожух. Чувствительные элементы, рабочий и сравнительный, подлежат замене на запасные.

Сборку производят в обратной последовательности.

Влагомер газов типа «Байкал». Причиной выхода из строя прибора являются потеря плотности в газовой схеме датчика, отработка сорбента (пятиокси фосфора) в канале чувствительного элемента.

Герметичность датчика проверяют в такой последовательности: при включении влагомера в сеть подключить через тройник к штуцерам датчика «Выход газа» и «Байпас» образцовый манометр с пределом измерений 0—0,6 МПа (0—6 кгс/см²); затем на «вход» датчика через запорный вентиль необходимо подать сухой азот или воздух под давлением 0,3 МПа (3 кгс/см²), а затем закрыть запорный вентиль и следить за падением давления по образцовому манометру. Спад давления за 120 мин не должен превышать 0,002 МПа (0,02 кгс/см²).

Превышение указанной нормы спада давления свидетельствует о неплотности газовой схемы датчика; при этом необходимо последовательно подтянуть все накидные гайки в газовой схеме, а затем повторить поверку герметичности датчика.

При неудовлетворительных результатах поверки требуется поочередно демонтировать участки газовой схемы (нержавеющие трубы из материала Х18Н9Т диаметром 3 мм) и обратить внимание на качество их развальцовки. Трубки с неправильной формой вальцовки необходимо заправить на точильном станке, а затем развальцевать конусом с углом $74 \pm 2^\circ$.

После проведения данных работ необходимо повторить испытания датчика на герметичность.

Регенерация чувствительных элементов влагомеров (восстановление сорбента в канале) производится после изъятия чувствительного элемента (ЧЭ) из газового тракта. В зависимости от времени отработки ЧЭ, а также наличия механических примесей, «проскоков» пылевых и масляных частиц в канал ЧЭ его обработка ведется в горячей 10 %-ной азотной кислоте при неоднократной промывке канала дистиллированной водой. После сушки канала сухим азотом или воздухом необходимо закрепить ЧЭ на штативе, вскрыть ампулу с сорбентом — 20 %-ный раствор ортофосфорной кислоты — и пропустить через канал ЧЭ примерно 50 мл. После стекания сорбента из канала ЧЭ подвергают сушке в два этапа: сухим газом (азот, воздух), а затем досушке пленки сорбента электрическим током — электролизом.

Первоначальную сушку проводят при расходе газа через ЧЭ в пределах 15 — 20 см³/мин. Периодически измеряя сопротивление между электродами ЧЭ, продувку заканчивают при сопротивлении

5—10 кОм, что соответствует времени продувки в пределах 1—1,5 ч.

При достижении сопротивления 5—10 кОм к ЧЭ подсоединяют источник постоянного тока 5—10 В и контрольный миллиамперметр.

Ориентировочное время процесса досушки составляет 0,5—1 ч.

По окончании сушки ЧЭ отсоединяют от схемы, протирают его торцы чистой марлей и вновь устанавливают в датчик влагомера.

Обработанные и подготовленные резервные ЧЭ необходимо хранить в специальных пеналах, предварительно загерметизировав заглушками канал ЧЭ от атмосферной влаги.

В электрической схеме влагомера встречаются следующие основные неисправности:

1. На всех диапазонах измерения стрелка регистрирующего прибора резко уходит до конца вправо и не реагирует на изменение влажности измеряемого газа.

Вероятной причиной неисправности может явиться плохой контакт на клеммах ЧЭ, обрыв или короткое замыкание.

2. На одном или нескольких диапазонах измерения стрелка регистрирующего прибора не отклоняется и не реагирует на изменения влажности газа.

Причиной неисправности является плохой контакт в переключателе диапазонов измерения. Необходимо прозвонить измерительные цепи и устранить неисправность.

3. Нестабильные показания влагомера могут быть вызваны кратковременными «проскоками» влаги в канал ЧЭ либо нестабильной работой регулятора расхода газа.

При «проскоках» влаги необходимо перевести переключатель диапазонов прибора в положение «сушка».

Нестабильность работы регулятора расхода устраняется настройкой регулятора по измерителю расхода типа ИРГП. Наиболее характерными неисправностями газоанализатора типа ТП-1116 являются неисправность побудителя расхода, отсутствие чувствительности прибора, нарушение работы сигнальных устройств.

Неисправность побудителя обнаруживается по отсутствию потока газа через ротаметр РС-3А. При этом возможны следующие варианты неисправностей: выход из строя электродвигателя побудителя, обрыв или прорыв резиновой мембраны побудителя, негерметичность клапана побудителя.

Неисправный электродвигатель подлежит замене, для замены мембраны необходимо разобрать головку побудителя расхода, отвернуть крепление, снять неисправную и установить исправную мембрану. Сборку производят в обратном порядке.

Негерметичность клапана побудителя устраняется его прочисткой или заменой клапана.

После монтажных работ по установке газоанализатора ТП-1116 при наладке прибора возможно полное отсутствие чувствительно-

сти прибора вследствие нарушения контакта в измерительном реохорде или неисправности усилителя вторичного электронного самopiшущего прибора типа КСМ-2.

Если при включении питания газоанализатора стрелка вторичного прибора резко перемещается в одно из крайних положений шкалы прибора и газоанализатор не реагирует на концентрацию поверочной газовой смеси, то возможен ряд причин:

нарушена синфазность питания приемника и вторичного регистрирующего прибора (необходимо поменять местами провода, подводящие питание к приемнику или вторичному прибору),

возник обрыв чувствительного элемента датчика (необходимо произвести ремонт датчика),

нарушен контакт в линиях связи датчика и вторичного прибора (необходимо проверить и устранить обрыв контакта).

Основными неисправностями оптико-акустического газоанализатора типа ОА-5501 являются: перегорание излучателей *И1* или *И2* (см. рис. 146), неисправность фотоспротивления *ФС* типа *ФСК-4*, неисправность поляризованного реле *Р1* типа *РП-4*, перегорание лампы подсветки *Л1* фотоспротивления *ФС*, неисправность конденсаторного микрофона вследствие замыкания мембраны, ее ослабление или попадания пылинок между обкладками конденсатора.

Конденсаторный микрофон ремонтируют, как правило, на заводе-изготовителе или в соответствии с инструкциями завода по сборке и наладке датчика слесарями-ремонтниками.

Особенностью ремонта оптико-акустических газоанализаторов типа ОА является необходимость юстировки оптической схемы прибора при замене перегоревших излучателей *И1* и *И2* и периодической чистки рабочей камеры. Юстировка прибора производится при пропускании через рабочую камеру контрольной газовой смеси, соответствующей начальной точке шкалы прибора. При этом перекрывается световой поток одного излучателя (*И1* или *И2*), резистор электроблока «установка нуля» устанавливается в среднее положение и по осциллографу при перемещении второго излучателя добиваются максимального значения сигнала. Осциллограф типа ЭС-7 или С1-19Б подключают к клемме «Выход-3» колодки «усилитель» на электроблоке. После этого фиксируют положение излучателя. Затем, перекрывая световой поток от настроенного излучателя, таким же образом регулируют положение второго излучателя.

При наличии помех, наблюдаемых на сигнале излучателя по осциллографу, требуется резисторами «фон микрофона» и «фон усилителя» установить наименьшее значение фона переменной частоты 50 Гц.

Поворачивая обтюратор относительно оси вращения, требуется установить максимальную чувствительность схемы. Сигнал на осциллографе, который подключен на клемму «фаза» колодки усилителя электроблока, должен иметь при этом вид обрезанной синусоиды (рис. 215).

После закрытия крышки приемника и заполнения корпуса азотом производят проверку и настройку газоанализатора по контрольным газовым смесям.

Технологические установки и трубопроводы с датчиками газоанализаторов соединяются медными трубками или трубками из нержавеющей стали диаметром 3—6 мм. Линия, связывающая место отбора и датчик, называется импульсной линией.

Для удобства монтажа с целью уменьшения их жесткости импульсные трубки отжигают газовыми горелками на природном газе. При значительной протяженности импульсной линии необходимое количество трубок после развальцовки сваривают между собой. Медные трубки паяют медью с помощью сварочного газового поста, нержавеющей трубки сваривают серебряным припоем ПСР или аргонной сваркой. После сварки проводят гидравлические испытания на отсутствие утечек в линии.

Импульсные линии, используемые на кислороде, подлежат предварительному обезжириванию.

В местах врезки импульсной линии в технологический трубопровод и у датчика газоанализатора должны устанавливаться запорные краны на соответствующее рабочее давление.

Газоанализатор СВК-3М. При выходе из строя измерительных элементов датчика (см. рис. 139), обрыве платиновой нити вследствие разбаланса мостовой измерительной схемы прибор выдает сигнализацию «Неисправность» и на изменение концентрации газа не реагирует.

При данной неисправности следует отключить напряжение с газоанализатора, специальным торцовым ключом снять болтовые соединения крышки датчика, отсоединить от электрической схемы элементы $R1$ и $R2$, вывернуть и заменить их.

После этого установить и закрепить крышку датчика герметично, затем проверить работоспособность прибора по поверочной газовой смеси, содержащей 20% НВП водорода, т. е. 0,8% водорода. При этом стрелка показывающего прибора газоанализатора должна через 30 с установиться в красном секторе, а прибор выдать сигнал «Концентрация».

Для повторного включения прибора после выдачи сигнала «Концентрация» необходимо на панели электроблока выключить и включить тумблер «Сеть», а затем нажать кнопку «Пуск».

В процессе наладки газоанализатора, а также его дальнейшей эксплуатации необходимо периодически контролировать и поддерживать редуктором и вентилем расход анализируемой среды по ротаметру в пределах $(16 \pm 1,5)$ л/ч.

Электронную часть электроблока ремонтируют согласно электрической схеме прибора, перечня элементов и их номиналов и таблицы режимов работы схемы (табл. 24).



Рис. 215. Вид кривой при настройке прибора ОА-5501 по осциллографу

Поверка прибора на «нулевые показания» производится переключением крана-переключателя датчика из положения «Анализ» в положение «Контроль». В таком положении через датчик просасывается чистый воздух и стрелка индикатора должна установиться в начале шкалы. При необходимости корректировку «нуля» прибора требуется произвести переменным резистором $R17$ «Установка нуля», расположенным на электроблоке прибора (см. рис. 141).

В процессе наладки и эксплуатации газоанализатора требуется периодически производить следующие замеры и настройки:

1. Контроль стабилизированного тока питания датчика, равно-го $(0,35 \pm 0,07)$ А, проверяется миллиамперметром 0—500 мА, включенным на клеммник блока $K3$ (см. рис. 141) при нажатой кнопке $Kн2$.

Если величина тока отличается от заданного значения, то резистором $R22$ «Установка тока» производится корректировка тока.

2. Порог срабатывания блока (35 ± 5) мВ измеряется милливольтметром постоянного тока с пределом измерения 0—75 мВ, включенным на клеммник $K1$.

Если величина напряжения не равна заданной, потенциометрами $R8$ «Грубо» и $R11$ «Точно» выставляется требуемое напряжение (35 ± 5) мВ.

§ 10. Ремонт элементов автоматики

Неисправностями электромеханических реле являются обрывы обмоток, износ контактов и разрегулировка реле.

Как правило, катушка (обмотка) реле подлежит замене. Катушки перематывают в тех случаях, когда нет запасных.

Обгоревшие, сработанные контактные группы реле заменяют. В реле ПЭ-6, МКУ-48 для этой операции (рис. 216) ослабляют гайки 13 держателя и изоляционных плат 14 , пинцетом снимают обгоревшие контакты, а на их место устанавливают новые. Затягивая гайки 13 , одновременно выравнивают и предварительно регулируют контактные группы, не допуская перекосов общей траверсы.

Окончательно контакты регулируют имитацией срабатывания реле от руки, нажатием на якорь 3 . В отрегулированном реле при за-

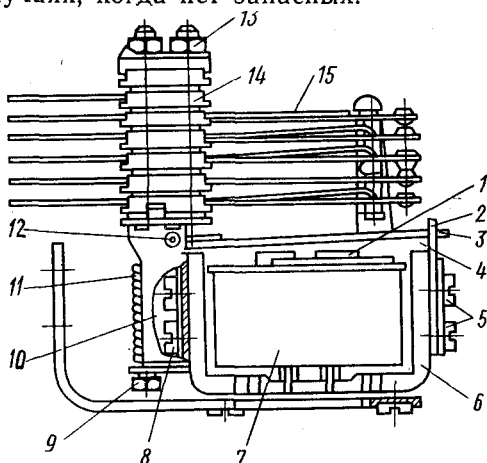


Рис. 216. Электромеханическое реле ПЭ-6: 1 — штифт отлипания, 2 — ограничитель, 3 — якорь, 4 — затвор, 5, 8 — винты, 6 — сердечник, 7 — катушка, 9 — натяжной винт, 10 — стойка, 11 — пружина, 12 — ось якоря, 13 — гайка, 14 — изоляционные платы, 15 — упорные держатели

мыкании контактов должен образоваться некоторый прогиб контактной группы в пределах 1—3 мм (в зависимости от типа реле).

Контакты чистят только щеточкой или бумагой, смоченной в бензине или спирте.

Положение контактов регулируют пинцетом или «утконосами», причем регулируют положение не самих контактов, а их упорных держателей 15: подгибая или опуская держатели, добиваются правильного положения контактов при срабатывании и отпуске реле.

Механические и электрические характеристики реле регулируют на специальном стенде, включающем источник регулируемого напряжения, измерительные приборы и электрический секундомер. Для токовых реле определяют ток срабатывания, для промежуточных реле напряжения — напряжение срабатывания.

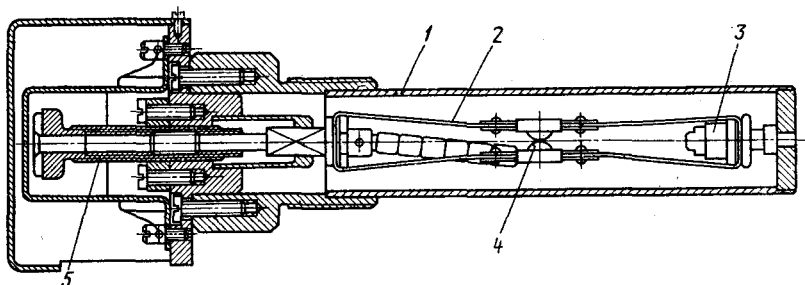


Рис. 217. Температурное реле ТР-200:

1 — корпус, 2 — инварные пластины, 3 — держатель, 4 — контакты, 5 — настроечный винт задания

Для изменения тока срабатывания некоторых типов токовых реле предусматривается регулирование силы натяжения противодействующей пружины.

Промежуточные реле должны обеспечивать надежное срабатывание при 15—20 % -ном понижении напряжения от номинального значения. С учетом запаса напряжение срабатывания реле $U_{ср}$ принимается равным 60—70 % паспортной величины.

Реле времени, кроме того, проверяют на точность временной шкалы электросекундомером. Плохое состояние оси якоря, подпятников, загрязнение кинематических узлов являются причинами нарушения механических и электрических характеристик реле.

Температурные dilatометрические элементы автоматики типов ТР-200, ТРДЭ и другие имеют достаточно высокую надежность в работе. Наиболее характерной неисправностью этих элементов является несоответствие температуры срабатывания температуре задания. Эти неисправности возникают при использовании реле в местах повышенной вибрации и электрических цепях с разрывной мощностью, превышающей разрывную мощность контактов реле.

При ремонте таких приборов требуется вскрыть реле, осмотреть кинематические узлы и электрические контакты; обгоревшие кон-

тактные группы подлежат замене, а грязные контакты чистят щеточкой, смоченной в спирте или бензине.

При замене контактов реле ТР-200 (рис. 217) сверловка и клепка контактных плат должна производиться без деформации инварных пластин 2. Деформации могут в дальнейшем служить причиной разрегулировки диапазона задания срабатывания.

При ремонте реле ТРДЭ также заменяют прокладки и уплотнения.

После ремонта и сборки производят опробование реле при нагревании датчика прибора в водяном или масляном термостате методом сравнения температуры срабатывания с уставкой срабатывания. Опробование производится в трех-четыре точки шкалы датчика и повторяется не менее трех раз. Температура срабатывания реле ТР-200 не должна превышать «задание срабатывания» более 5°C , а реле ТРДЭ $\pm(1,5-2,5)^{\circ}\text{C}$ от диапазона регулирования.

В манометрических реле-датчиках давления и разрежения типов ДН, ДД и ДТ (см. рис. 95) основными причинами отказов являются: разгерметизация датчика (разрыв мембраны или сиффона), неисправность микропереключателя, высокая погрешность срабатывания.

Разгерметизация приборов возникает при значительных перегрузках датчиков по давлению или разрежению. При разрыве или старении мембраны она заменяется новой.

При неисправностях в работе микропереключателей типов МПЗ, ЕИ-6 — обгорания контактов, поломки толкателя и пружины — переключатель заменяют.

После сборки реле проверяют его герметичность при давлении, равном максимальному пределу давления прибора, и срабатывание соответственно шкалы настройки. Срабатывание проверяют образцовым манометром, подключенным к датчику, в трех-четыре точки шкалы. Погрешность срабатывания отремонтированных приборов должна составлять 2—5% от предела задания.

При ремонте поплавковых реле уровня типов РП-40, СУ-1, дифференциальных реле давления ДРД, реле давления РДС и реле скорости потока воздуха РПВ-2 кроме неисправностей кинематических узлов возникают отказы в работе из-за старения и снижения сопротивления изоляции токоведущих частей, обрывов подвижных токоведущих проводников и поломки стеклянного корпуса ртутного переключателя.

При обрывах проводников и их коррозии проводники подлежат замене без изменения типа и сечения проводника, пайку мест соединений проводников и контактов ведут припоем ПОС-40 или ПОС-60.

В некоторых типах датчиков на проводники надевают керамические изоляторы — бусы. Разбитые ртутные переключатели заменяют новыми, предварительно удалив в вытяжном шкафу из корпуса разлитую ртуть с помощью резиновой груши. Собранная ртуть должна находиться в закрытой металлической или резиновой груше.

После очистки корпуса прибора ослабляют крепеж держателей переключателей, отпаивают токоведущие проводники, демонтируют старые и устанавливают новые переключатели. Перемещая в крайние положения кинематические звенья приборов, определяют правильное положение и угол наклона переключателей, после чего их окончательно крепят и припаивают контакты.

Сопротивление изоляции всех типов приборов определяется мегомметром напряжением 1000 В.

§ 11. Ремонт автоматических регуляторов

Неисправности электронных регуляторов определяют методом проверки параметров схемы и ее отдельных элементов с помощью приборов. После ремонта и замены элементов регулятор должен пройти стендовую проверку.

В качестве примера рассмотрим порядок проверки электронного регулятора МЗТА типа РПИБ (рис. 218).

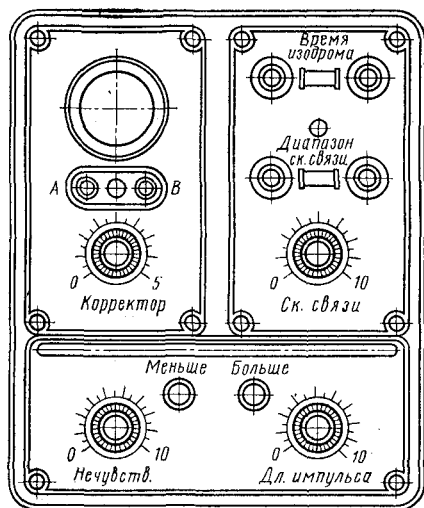


Рис. 218. Общий вид электронного регулятора МЗТА типа РПИБ

Основными причинами неисправностей регулятора (см. рис. 171) являются: нарушение характеристик двойного триода Л1 электронного блока; выход из строя полупроводниковых триодов Т1 или Т2 схемы модулятора или Т3, Т4 схемы триггера; выход из строя триодов Т5, Т6 выходного каскада; неисправности переменных резисторов: «Корректор» R6, «Нечувствительность» R8, «Скорость связи» R14 и «Длительность импульса» R28; неисправность переменных резисторов измерительного блока «Чувствительность» R81—R84, «Чувствительность задатчика» R85 и «Корректор» R80 (см. рис. 170).

Для проверки работоспособности электронного блока (см.

рис. 171) после устранения неисправностей на клеммы 3—4, 5—6, 14—15 устанавливают перемычки, закорачивают сопротивление R9 «Время изодрома» и снимают сопротивление R13 «Диапазон скорости связи». На клеммы 1—2 подается сетевое напряжение 220 В, ручки резисторов «Длительность импульса» R28 и «Нечувствительность» R8 устанавливают в нулевое, а «Корректор» R6 — в среднее положение.

При исправности схемы электронный блок с помощью «Корректора» R6 должен балансироваться, т. е. лампы «Больше» и «Меньше» (ЛБ и ЛМ) должны погаснуть. Если балансировка не

обеспечивается, то необходимо снять соответствующую перемычку с клемм 3—4 или 5—6. Если в результате снятия указанных перемычек балансировка не производится, то необходимо сменить двойной триод Л1 и повторить балансировку.

Фазировка блока проверяется для определения правильности отработки регулятора: при повороте ручки «Корректор» по часовой стрелке должна загораться лампа «Больше» ЛБ, а против часовой стрелки — лампа «Меньше» ЛМ. При этом выходное напряжение на клеммах 8—9 или 7—8 должно быть в пределах 24—30 В.

В измерительном блоке после ремонта проверяют напряжение на выходе и коэффициент усиления. Для определения напряжения на выходе на клеммы 21—22 (см. рис. 170) подается напряжение переменного тока 220 В, а на клеммах 31—32, 32—33, 33—35, 37—38, 38—39, 39—36 измеряют напряжение, которое должно быть в пределах $(6 \pm 0,5)$ В.

Коэффициент усиления определяют при подключенном задатчике (клеммы 28—29—30). Ручка «Задатчик» должна находиться в среднем положении, ручка «Чувствительность задатчика» в положении I, а все остальные ручки потенциометров в крайнем левом (нулевом) положении.

На вход усилителя «Корректор» R80 подают напряжение $U_{вх} = 25 \div 50$ мВ, измеряемое милливольтметром переменного тока, подключенного на клеммы «Вход усилителя». На клеммах «Выход усилителя» с помощью лампового вольтметра постоянного тока измеряется выходное напряжение усилителя $U_{вых}$. Коэффициент усиления усилителя $K_y = U_{вых}/U_{вх}$ должен составлять 45—60.

В пневматических изодромных регуляторах типов МС-711р, МТ-711р и других при сбоях в работе должна производиться проверка регулирующего устройства. Для проверки к регулятору подводят сжатый воздух давлением 140—160 кПа ($1,4 \div 1,6$ кгс/см²), которое контролируется по шкале «Питание двухстрелочным манометром 5, встроенным в прибор (см. рис. 158,а). Дроссель настройки времени изодрома устанавливают по шкале 10 (см. рис. 158,б) на минимальное значение 0,1, а предел пропорциональности на 40%. На вход прибора подают давление, равное 12,5; 50 и 87,5% его диапазона. Смещая стрелку 6 задания регулирования вверх и вниз, требуется настроить регулятор таким образом, чтобы давление на выходе регулятора соответственно составляло 30, 60, 90 кПа (0,3; 0,6; 0,9 кгс/см²).

Если при всех значениях входного и выходного давлений стрелка задания смещена по отношению пера в одну сторону, то требуется настроить начальную точку. Для этого ослабляется стопорный винт и винтом 3 регулировки сопла настраивают до тех пор, пока рассогласование входного давления (контролируемого параметра) и «задания» во всех контрольных точках (12,5; 50; 87,5%) не станет более 1,5%.

Основными неисправностями таких регуляторов являются износ дросселя настройки времени изодрома, который вызывает несоответствие шкалы времени изодрома;

разгерметизация сильфона обратной связи и пневмостемки интегрального блока, которая приводит к падению давления до нуля на выходе регулятора при закрытом дросселе изодрома;

нечетко работает дроссель настройки времени изодрома, что приводит к резкому падению или превышению давления на выходе регулятора при установке времени изодрома на бесконечность;

негерметичность пневмолиний и систем, неплотность прилегания «сопло — заслонка» из-за деформации, загрязнения дросселя или сопла, образования трещин в сильфонах обратной связи.

При нарушении герметичности в пневматических изодромных регуляторах типов МТС-711р, МТС-712р, а также в приборах серии КСЗ возникают неисправности: неудовлетворительная работа регуляторов, разброс и нестабильность поддержания регулируемой величины.

Для проверки герметичности пневмосистемы регулятора необходимо заглушить штуцер «Выход» регулятора и закрыть заслонку сопла. Затем на «Вход» регулятора подают сжатый воздух давлением 0,12—0,13 МПа (1,2—1,3 кгс/см²) и тщательно обмывают штуцер.

Неплотное прилегание заслонки к соплу устраняют очисткой заслонки от пыли и грязи вследствие неудовлетворительной работы фильтра очистки. Пыль удаляют кисточкой, смоченной в спирте или бензине. При искривлении плоскости заслонки необходимо выправить ее поверхность пинцетом.

Торцовую поверхность сопла и его канал от пыли чистят специальной фосфористо-бронзовой иглой диаметром 0,2—0,3 мм (рабочий диаметр сопла равен 0,5 мм).

После проведения ремонтных работ проверяют задатчик регулятора: перемещением стрелки 5 (см. рис. 158,б) устанавливают предел пропорциональности 1—1,5%, затем вращением винта 3 задатчика добиваются изменения давления на выходе регулятора от 0,01 до 0,1 МПа (0,1—1,0 кгс/см²).

Аналогичную операцию проводят при установке диапазона дросселирования (пределе пропорциональности), равного 50%.

Работоспособность блока пропорциональности проверяется в двух точках: 1—1,5% и 50% диапазона пропорциональности.

Для этого на «Вход» регулятора подают минимальное значение регулируемого давления и вращением винта 3 настраивают выходное давление в пределах 10 кПа (0,1 кгс/см²).

Если блок исправен, то при изменении входного давления на величину 1—1,5% от верхнего предела регулятора давление воздуха на «Выходе» регулятора должно составлять 0,09—0,1 МПа (0,9—1,0 кгс/см²).

В процессе эксплуатации пневматических регуляторов типов МТС-711р, МТС-712р возможны неисправности:

1. Ваялая работа регулирующего органа при исправном регулирующем устройстве свидетельствует о засорении или утечке в импульсной линии исполнительного механизма.

Необходимо определить и устранить утечку воздуха в линии исполнительного механизма. Утечки определяют обмыливанием. Места соединений, имеющие утечки, затягивают или опаявают.

2. Перо прибора не реагирует на изменение измеряемого давления при засорении подводящей линии, либо в связи со свободным проворачиванием пера на оси.

Необходимо продуть линию, снять накидную гайку со штуцера прибора, при отсутствии давления установить стрелку прибора с пером в нулевое положение и часовой отверткой зафиксировать его положение на оси.

3. Уменьшение времени изодрома, не соответствующее отметкам шкалы, происходит при износе дросселя.

Необходимо настроить дроссель или заменить его.

4. При отсутствии выходного сигнала, при отклонении стрелки задания от пера свыше 1,5% от диапазона диаграммы следует произвести настройку начальной точки.

Для этого требуется ослабить контровочный винт и вращать отверткой винт 3 регулировки сопла (см. рис. 158,б), пока рассогласование параметра и задания на контрольных точках не станет меньше допустимого (1,5%).

При настройке регулятора на объекте необходимо правильно выбрать как время изодрома, так и предел пропорциональности.

При значительных отклонениях (возмущениях) регулируемого давления необходимо установить меньшую величину предела пропорциональности. Настройку работы регулятора следует производить с больших значений. Путем последовательного уменьшения предела пропорциональности останавливаются на таком значении, когда регулируемое давление на диаграмме будет иметь вид незатухающих колебаний с минимальной амплитудой.

Большое время изодрома приводит к значительным отклонениям регулируемого давления от заданного значения в начальный период переходного процесса и приводит к медленному возвращению регулируемого давления к заданному значению.

С другой стороны, установка малых значений времени изодрома уменьшает амплитуду колебаний в переходном процессе, но увеличивает частоту и время колебаний регулируемого давления.

Если не допускаются по условиям работы большие отклонения регулируемого давления, то необходимо уменьшать время изодрома.

Если требуется уменьшить резкие колебания переменной (регулируемого давления) в течение длительного времени, то время изодрома следует увеличивать.

При работе пропорционально-интегрального пневматического регулятора типа ПРЗ-21 возможны неисправности следующих узлов: элементов сравнения I, II, IV, усилителя мощности V, выключающего реле VI.

При нестабильной работе элементов сравнения необходимо проверить соответствие давлений в камерах.

При отклонениях давлений регулировка производится изменением положения сопел C1 и C2 (см. рис. 166). При этом требуется

иметь в виду, что рабочие зазоры между соплом-заслонкой составляют $0,1 \pm 0,05$ мм, поэтому данная регулировка должна производиться осторожно.

Усилитель мощности может иметь негерметичность, при которой возникают большие погрешности в усилении сигнала. Герметичность проверяют следующим образом: усилитель мощности отсоединяют от схемы, в его камеру *A* подается давление питания $P_{вх}$ через редуктор; камера *B* соединяется с образцовым манометром $P_{вых}$ и пневмоемкостью вместимостью 3 л.

При герметичности элементов и при изменении входного давления $P_{вх}$ давление на его выходе $P_{вых}$ должно соответствовать соотношению: $P_{вых} = P_{вх} \pm \Delta$, где Δ не должна превышать 0,5% $P_{вых, макс.}$.

Затем в камеру *A* скачкообразно подается давление до 0,1 МПа (1 кгс/см²). При этом измеряется время набора и сброса давления из пневмоемкости. Если время отличается от нормы 12 ± 2 с, то необходимо разобрать усилитель, проверить состояние сопла сброса и прорезиненной прокладки между камерами *A* и *B*.

Если пневмоемкости наполняются быстрее заданной нормы, необходимо увеличить зазор у сопла сброса, если пневмоемкость наполняется медленнее заданной нормы — необходимо выполнить притирку сопла сброса после замены прокладки между камерами *A* и *B*.

Неисправность выключающего реле *VI*, как правило, связана с потерей его герметичности. Для устранения данной неисправности реле отключают от схемы и снимают с платы. Затем проверяют состояние резиновой заслонки, являющейся общей для камер *D* и *G*. При обнаружении следов неплотности соприкосновения между заслонкой и мембранной прокладкой необходимо склеить заслонку к мембране клеем № 88. Для этого внутренние поверхности склеиваемых поверхностей промазывают тонким слоем клея, выдерживают 3—5 мин, а затем склеивают и выдерживают под давлением в течение 6—8 ч.

После проверки качества склеивания реле собирают, устанавливают на плату и подключают в схему.

После устранения указанных неисправностей регулятора ПР3.21 проверяют его параметры: отработка выходного сигнала, шкал времени изодрома и диапазона дросселирования, смещения контрольной точки.

Регулятор переводится в пропорциональный П-режим (с помощью установки времени изодрома $T_{и} = \infty$). При создании давления питания $P = 0,14$ МПа (1,4 кгс/см²) проверяется отработка выходного сигнала регулятора; для этого необходимо перевести стрелку диапазона дросселирования на минимальную отметку (5%), создать в камере *D* давление задания $P_3 = 0$, а в камере *G* создать входное давление $P_{вх} = 0,06$ МПа (0,6 кгс/см²). При создании указанных условий давление на выходе регулятора должно быть минимальное $P_{вых} = 0,02$ МПа (0,2 кгс/см²).

При изменении давления задания P_3 от 0 давление на выходе регулятора $P_{\text{вых}}$ должно возрастать.

При равенстве давлений в камере задания D и камере входа Γ ($P_{\text{зад}} = P_{\text{вх}}$) давление на входе регулятора должно быть максимальным, т. е. $P_{\text{вых}} = 0,1$ МПа ($1,0$ кгс/см²).

Смещение рабочей точки регулятора проверяется на 0,100 и 1000 % диапазона дросселирования.

Вначале устанавливают «0» диапазон дросселирования (при полном закрытии дросселя) и давление задания $P_3 = 0,03$ МПа ($0,3$ кгс/см²), затем плавно поднимают входное давление $P_{\text{вх}}$ до такой величины, чтобы давление на выходе регулятора $P_{\text{вых}}$ составляло 0,03 МПа ($0,3$ кгс/см²).

Смещение рабочей точки регулятора, т. е. разность давлений входа и задания ($P_{\text{вх}} - P_3$) не должна превышать $\pm 1\%$ максимального рабочего давления регулятора.

Затем аналогичную поверку производят при давлениях задания 0,06 и 0,08 МПа ($0,6$ и $0,8$ кгс/см²).

Поверка диапазона дросселирования производится на всех оцифрованных отметках шкалы 5—300 %.

Для этого на сумматоре I (см. рис. 166) в камерах B , Γ , D создают давление, равное 0,6 МПа ($0,6$ кгс/см²). При изменении давления задания P_3 в камере B добиваются изменения давления на выходе регулятора $P_{\text{вых}}$ на следующую величину:

Диапазон дросселирования, %	5—15	150—250	250—3000
Изменение давления на вы- ходе регулятора $\Delta P_{\text{вых}}$, МПа (кгс/см ²)	$\pm 0,02$ (0,2)	$\pm 0,01$ (0,1)	$\pm 0,001$ (0,01)

Диапазон дросселирования (%) определяется выражением $\delta = \Delta P_3 / \Delta P_{\text{вых}} \cdot 100$, где ΔP_3 — изменение давления задания, $\Delta P_{\text{вых}}$ — изменение давления на выходе регулятора.

Ремонт элементов универсальной системы элементов промышленной пневмоавтоматики (УСЭППА). Отказы в работе элементов и блоков данной системы вызываются следующими основными факторами: нарушением плотности соединений элементов хлорвиниловыми трубками, попаданием на поверхность пневмоэлементов и пневмоканалов пыли и механических включений при неудовлетворительном качестве питающего воздуха, нарушением плотности (герметичности) соединений элементов, смещением положения элемента сопло-заслонка, прорыве поверхности рабочих мембран или потере чувствительности резиновых мембран вследствие их старения.

При определении утечек в трубках производится их замена, пыль и следы масла удаляются с поверхности элементов чисткой, прочисткой сопловых камер и самих сопел, неисправные мембраны заменяют; при неудовлетворительной регулировке элементов сравнения производится настройка положения между мембраной и соплом.

Пневматические исполнительные механизмы (клапаны) имеют отказы в работе по следующим факторам:

затирания плунжера клапана вследствие попадания механических включений, окалины между плунжером и седлом;

увеличение пропусков жидкости (или газа) при закрытом состоянии клапана из-за коррозии рабочих поверхностей седла и плунжера;

неравномерность хода штока клапана (заедание) при неправильной регулировке противодействующей пружины и механических неисправностей клапана;

вялая работа клапана вследствие повреждения прорезиненной мембраны клапана (прорыв, потеря плотности, утечка воздуха в соединениях).

При перечисленных механических неисправностях требуется разобрать клапан. Мембранный пневматический механизм (см. рис. 175) отделяют от клапана. Для этого необходимо ослабить и открутить контргайки, вывернуть соединительную муфту. Затем снять стопорное кольцо, соединяющее клапан с пневматическим механизмом.

Клапан (см. рис. 176) разбирают в такой последовательности: демонтируют крепежные гайки верхней 8 и нижней 2 крышек, а затем извлекают шток с затвором 7. После разборки осматривают состояния затворных сечений седла и рабочего пояса затвора. Эти поверхности необходимо протереть керосином, а затем ветошью. Если при тщательном осмотре обнаружены «задиры» рабочих поверхностей, то это свидетельствует о попадании в клапан металлических включений, окалины и т. д., при которых клапан при работе может «затирать» или иметь большие нерегулируемые протечки рабочей среды (жидкости или газа).

Для устранения дефекта необходимо притереть рабочие поверхности седла клапана и его затворов. Для этого корпус клапана закрепляют в тисках, на рабочие поверхности седла и затвора наносят шлифовальную массу — смесь тонкого помола кварцевого песка с глицерином (или веретенным маслом). Шток помещают в клапан, на его верхний конец закрепляют вороток и одновременно нажатием штока вниз вращают вороток на 60—90°. После 6—8 вращений шток разворачивают на 180° и повторно выполняют притирку. Затем шток вынимают, протирают ветошью рабочие поверхности и осматривают.

Операцию притирки производят до устранения «задилов» поверхностей.

Клапан собирают в обратной последовательности: в корпус клапана устанавливают шток с затворами, собирают и затягивают верхнюю и нижнюю крышки. Мембранный механизм в сборе устанавливают на корпус клапана, закрепляют контргайкой, а шток клапана соединяют со штоком мембранного механизма. Проверяют и подтягивают уплотнительную крышку сальника, с тем чтобы обеспечить свободный ход штока под действием его массы.

При обрыве прорезиненной мембраны мембранного механизма (см. рис. 175) необходимо снять верхнюю крышку 1 и мембрану 2, предварительно сняв верхнюю контргайку. После этого снимают опорный металлический диск, по шаблону вырезают из прорезиненной ткани новую мембрану, размечают отверстия под болтовые соединения, а затем пробойником пробивают заданные отверстия.

Сборку механизма производят в обратной последовательности. Для проверки плотности (герметичности) механизма на штуцер подают давление 0,01 МПа (1 кгс/см²) и обмывают соединения; отсутствие пузырьков воздуха свидетельствует о герметичности механизма.

При наличии воздушных пузырьков необходимо равномерно обтянуть по образующей болтовые соединения крышек.

Пневматические исполнительные механизмы, используемые на чистые технологические газы и кислород вместо сальниковых уплотнений имеют сильфоны или шевронные уплотнения.

Настройка положения штока с затвором 7 относительно седла клапана (см. рис. 176) производится вворачиванием (выворачиванием) штока в соединительную муфту механизма. Если шток затвора 7 свободно вращается в клапане в одном из крайних положений — верхнем или нижнем, то требуется одним накидным ключом вращать в соответствующую сторону шток, а другим удерживать соединительную муфту. Отсутствие свободного вращения штока свидетельствует о нахождении штока в одном из крайних положений.

После ремонта исполнительного механизма его испытывают на герметичность при давлении, соответствующем паспортному значению. Выход клапана закрывают заглушкой, а на вход подается давление через гидропресс.

Утечки через фланцы, сальник и крышки не допускаются.

Электрические исполнительные механизмы, представляющие собой электропривод с регулирующим органом (задвижкой), кроме указанных выше неисправностей имеют ряд других, связанных с электроприводом.

Например, в колонке дистанционного управления типа КДУ (см. рис. 179) нарушение контакта в реостатном датчике 2 приводит к неправильным показаниям дистанционного указателя положения (ДУП) о степени открытия КДУ.

Разрегулировка положений концевых выключателей «Больше», «Меньше» приводит к поломке кулачка привода вследствие невыключения электродвигателя привода в крайних конечных положениях.

Выход из строя диодов мостовой схемы нарушает питание ДУП.

Все ремонтные работы в электроприводе выполняют в соответствии с заводской электрической схемой при полном снятии питающего напряжения.

ИЗНОС, ТЕХНИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ И НАДЕЖНОСТЬ ПРИБОРОВ

§ 1. Износ и смазка

Повышение износостойкости приборов является задачей высокой народнохозяйственной значимости. Наука, изучающая взаимодействие контактирующих поверхностей, называется трибоникой. Она изучает вопросы трения, износа и смазки, которые играют существенную роль в обеспечении долговечности и надежности приборов и средств автоматизации.

Трение — это противодействие относительному перемещению соприкасающихся и вращающихся тел в направлении, лежащем в плоскости их соприкосновения. В результате трения происходит изнашивание — изменение размеров и поверхностей трущихся тел.

Износ — изменение размеров, формы, массы или состояния поверхности изделия вследствие разрушения (изнашивания) поверхностного слоя изделия при трении.

Для борьбы с трением и износом применяют такое эффективное средство, как смазка. В зависимости от используемого материала, характеристики нагрузки и скорости в качестве смазки применяют жидкие и твердые вещества.

Для сохранения работоспособности приборов большое значение имеет стабильность трения, которая определяется состоянием трущихся поверхностей и смазочного материала. Для смачивания и фиксации смазочного материала в зоне трения ведут обработку трущихся поверхностей специальными растворами поверхностно-активных веществ (ПАВ), а также вводят присадки в смазочные материалы.

В настоящее время в приборостроении применяются самосмазывающиеся материалы — пористые металлические материалы, смешанные с порошковым смазочным материалом (графитом и т. п.).

Твердые смазки — порошки и антифрикционные покрытия применяют в приборостроении для стабилизации трения без жидких смазочных материалов.

В качестве порошков используют графит, нитрид бора и другие материалы, которые закрепляются на трущихся поверхностях. В качестве антифрикционных материалов используют различные полимерные, металлические и металлополимерные пленки.

В приборах обеспечение износостойкости ведется по двум направлениям — по оптимальному выбору материалов и форм трущихся поверхностей и правильной организации смазки узлов трения.

К конструктивным особенностям современных приборов следует отнести применение новых фрикционных материалов, использование «плавающих» деталей и упругих элементов в виде резиновых втулок, башмаков, а также учет температурных деформаций.

Резинометаллические шарниры не имеют износа от трения

скольжения, не требуют смазки и уплотняющих устройств; в связи с этим за ними значительно сокращается уход и контроль.

В плавающих деталях уменьшается износ и заедание. Снижение износа в таких конструкциях обеспечивается равномерным распределением нагрузки и снижением температуры нагрева, так как скорость скольжения при плавающем элементе снижается в два раза.

Правильный учет температурных деформаций трущихся поверхностей обеспечивает требуемые зазоры в сопряжениях и снижение тепловой нагрузки.

Смазка узлов трения имеет большое значение в обеспечении надежности и долговечности приборов. При эксплуатации приборов требуется периодически чистить и смазывать части приборов и их кинематические узлы.

К основным типам смазок и масел для смазки кинематических узлов, механизмов и редукторов в приборах и регуляторах относят: масло МВП (масло веретенное приборное), смазки ЦИАТИМ-221, ОКБ-122 и УС-2. Масло МВП применяется для заливки редукторов реверсивных двигателей, смазки направляющих кареток и т. д.

§ 2. Тепловой режим работы приборов

Всякий работающий прибор можно рассматривать как преобразователь энергии. Баланс энергии в приборе определяется уравнением: $E = E_{\text{пол}} + E_{\text{рас}} + E_{\text{нагр}}$, где E — энергия, используемая прибором, $E_{\text{пол}}$ — полезная энергия, используемая на работу прибора, $E_{\text{рас}}$ — энергия рассеиваемого тепла в пространство, $E_{\text{нагр}}$ — тепловая энергия, расходуемая на нагрев элементов прибора.

Коэффициент полезного действия (к. п. д.) прибора определяется отношением энергии $E_{\text{пол}}$ к энергии E : $\eta = E_{\text{пол}}/E = [E - (E_{\text{рас}} + E_{\text{нагр}})]/E = 1 - (E_{\text{рас}} + E_{\text{нагр}})/E$.

Из уравнения видно, что чем меньше тепловой расход энергии в приборе, тем выше его к. п. д.

Однако любой прибор при своей работе затрачивает на свое функционирование определенную часть подводимой энергии, идущей на его нагрев. Явление теплового нагрева всегда учитывается при разработке конструкции прибора. При этом стремятся, чтобы максимальная часть тепла рассеивалась в окружающее пространство, с тем чтобы не нарушить рабочие параметры прибора.

Теплообмен с окружающей средой возможен тремя способами — теплопередачей, конвекцией и радиацией.

При теплопередаче тепловой поток возникает при передаче тепла от одной молекулы к другой; при конвекции тепло переносится вместе с массами вещества; при радиации происходит излучение и поглощение тепловой энергии в виде электромагнитных волн.

Наиболее эффективными методами охлаждения приборов являются естественное и принудительное воздушное охлаждение. В некоторых случаях применяют жидкостное принудительное охлаждение.

При естественном воздушном охлаждении снижение теплового режима работы приборов происходит путем теплопередачи воз-

душными потоками. В разных частях конструкций прибора существуют различные температуры, которые определяются направлением и скоростью этих потоков. На эффективность охлаждения, кроме этого, влияют размеры поверхностей, их форма и качество. Чем больше поверхность нагретого тела, тем больше его теплоотдача. Для улучшения естественного охлаждения в корпусе приборов делают жалюзи, которые улучшают теплообмен и уменьшают перегрев элементов, работающих в тяжелых условиях.

При тяжелых тепловых условиях работы приборов применяют принудительное воздушное охлаждение, которое осуществляется специальными воздухонагнетательными и воздухоудными устройствами. Чем больше скорость и ниже температура воздуха, тем выше эффективность охлаждения.

Принудительное охлаждение осуществляется двумя способами: обдувом внешней поверхности корпуса и продувкой внутреннего объема прибора.

§ 3. Сухое и жидкостное трение

По кинематическим признакам различают трение скольжения и трение качения. При этом существуют два понятия сил трения — сил трения покоя и сил трения движения. Сила трения покоя есть сопротивление относительному перемещению соприкасающихся тел без нарушения связи между ними. Сила трения движения есть сила сопротивления равномерному относительному движению соприкасающихся тел.

Основными видами трения в приборах, элементах автоматики и регуляторах являются сухое и жидкостное трение.

Сухое трение возникает в кинематических парах, узлах и фрикционных передачах при отсутствии смазки и загрязнении между трущимися поверхностями.

При сухом трении возникают резкие скачкообразные перемещения поверхностей, вибрации и нарушения плавности хода передач. Для борьбы с такими явлениями увеличивают жесткость кинематических узлов, повышают скорость скольжения и подбирают пары трения.

Загрязнение, влага и пленки окислов влияют на коэффициент трения систем. Прочность окислов и грязи значительно меньше прочности основного материала, однако их наличие в кинематических узлах и парах увеличивает площадь контакта, а это приводит к увеличению силы трения и быстрому износу основного материала.

Жидкостное трение возникает в кинематических парах, узлах и фрикционных передачах, когда трущиеся поверхности разделены слоем смазочной жидкости или консистентной смазкой.

Жидкостное трение не зависит от природы трущихся поверхностей изделий, оно характеризуется малым коэффициентом трения, минимальной потерей энергии и большой долговечности по износостойкости.

Жидкостное трение существует между соприкасающимися поверхностями при качении и скольжении, когда смазочная жидкость вовлекается в зазор между трущимися или соприкасающимися поверхностями и разделяет их слоем смазки.

Консистентные смазки наряду с маслами также обеспечивают режим трения, исключая непосредственный контакт поверхностей и их взаимное внедрение. Консистентные смазки в отличие от масел, являющихся вязкими жидкостями, обладают вязкопластичными свойствами.

В приборных высокооборотных редукторах применяют в качестве смазки приборное масло МВП. Для смазки механизмов зацепления и низкооборотных редукторов используют консистентные смазки ЦИАТИМ-201 и УС-2.

§ 4. Герметизация приборов

Герметизацией называется защита прибора (изделия) от действия пыли, влаги и газов. Герметизация бывает полной или относительной. При полной герметизации обеспечивается защита прибора от пыли, влаги и газов. При относительной (неполной) герметизации обеспечивается защита от действия одного или нескольких факторов.

Герметизацию приборов выполняют тремя способами: использованием электроизоляционных материалов, исключаящих разгерметизацию; выполнением герметичных корпусов, не допускающих разгерметизацию; выполнением герметичных корпусов, допускающих разгерметизацию.

По назначению различают водозащитную, влагозащитную, пылезащитную и вакуум-плотную герметизацию приборов и элементов автоматики и контроля.

Пропитку, опрессовку и заливку отдельных элементов приборов выполняют электроизоляционными материалами и компаундами.

При пропитке поры, капилляры и каналы заполняются электроизоляционным материалом, что повышает защиту элемента от внешних воздействий, а также механическую и электрическую прочность изоляции.

Заливка элементов и изделий заключается в заполнении пространства между элементом и его корпусом электроизоляционным заливочным материалом. Этот метод наиболее распространен при герметизации малогабаритных изделий, интегральных схем отдельных узлов и приборов. Материалом для заливки являются пластмассовые компаунды с органическими и неорганическими наполнителями (окись алюминия, кварцевая пудра и т. д.).

При опрессовке на элемент или прибор толстым слоем наносится изоляционное пластмассовое покрытие. Опрессовку выполняют в специальных пресс-формах под давлением. В зависимости от назначения опрессовки применяют различные марки эпоксидных компаундов.

Данные по заливке изделий и назначение различных компаундов приведены в табл. 26, 27.

При защите приборов с помощью герметичных оболочек, допускающих разгерметизацию, используют герметичные разъемные соединения. Плотность соединения в местах установки разъемов обеспечивается с помощью уплотняющих прокладок — герметиков. В качестве материала герметика используют мягкие металлы, кожу, пластмассы, резину, синтетические замазки и клеи.

Защита приборов оболочками, не допускающими разгерметизацию, выполняется с применением неразъемных соединений, которые бывают сварные или паяные. Сварные соединения используются для герметизации малогабаритных и средних корпусов и предназначаются для работы в широком диапазоне температур от -50 до $+200^{\circ}\text{C}$ и механических нагрузок.

Паяные соединения применяют для герметизации приборов и элементов небольших размеров. При рабочих температурах выше 85°C используют только твердые припои типов ПМЦ, ПСР, АЛ; при температуре ниже 85°C используют мягкие припои ПОС, АВИА, ПОСК.

В табл. 28 и 29 указаны марки припоев и их компоненты.

§ 5. Виды износа приборов

Существуют два вида износов приборов и средств автоматизации: физический и моральный. При физическом износе прибора возникает резкое падение надежности его работы и возрастание издержек на ремонтные работы.

В реальных эксплуатационных условиях работоспособность приборов и элементов автоматики нарушается вследствие физического износа через определенный срок службы. Работоспособность приборов восстанавливается ремонтом и заменой деталей.

С течением времени эксплуатации прибора возрастает количество повреждений и отказов деталей и элементов, подлежащих ремонту или замене. Затем наступает момент, когда затраты на восстановление его работоспособности достигают такого уровня, при котором ремонт и настройка становятся экономически нецелесообразными (нерентабельными). Вследствие этого, несмотря на то, что прибор еще морально не изношен, его долговечность уже исчерпана.

Срок службы прибора определяется периодом его эксплуатации до разрушения или другого предельного состояния, которое устанавливается по изменению рабочих параметров, необходимостью ремонта и т. д.

Моральный износ характеризует такое работоспособное состояние прибора, когда его технические характеристики по сравнению с новыми однотипными приборами являются низкими и эксплуатация такого прибора (регулятора) становится экономически нецелесообразной.

§ 6. Понятие о надежности

Надежность средств автоматики и измерительной техники, используемых при автоматизации технологических процессов про-

изводства, является одним из главных факторов повышения качества выпускаемой продукции.

Надежность прибора, элемента автоматики или автоматической системы представляет собой способность изделия сохранять совокупность своих характеристик в установленных пределах в течение требуемого времени эксплуатации.

Приборы и системы обладают множеством различных свойств, связанных с точностью, быстродействием, формой и т. д. Совокупность свойств, обуславливающих пригодность прибора удовлетворять определенные потребности в соответствии с его назначением, называется качеством. Если эта совокупность свойств прибора удовлетворяет требованиям стандарта или техническим требованиям, то прибор является исправным; при нарушении требуемой совокупности прибор считается неисправным.

Работоспособность также является одним из свойств прибора, характеризующая его качества. Прибор может находиться в одном из двух состояний: работоспособном или неработоспособном.

Работоспособность есть свойство приборов нормально выполнять возложенные на него функции при определенных условиях эксплуатации. В силу целого ряда факторов происходит переход прибора из работоспособного в неработоспособное состояние. Если в приборе часто изменяются технические характеристики и он выходит из строя, то прибор имеет низкую надежность.

Безотказность — это свойство прибора сохранять работоспособность в течение заданного времени эксплуатации в определенных режимах работы.

При проектировании, разработке и выпуске приборов и элементов автоматики учитывается возможность проведения ремонта и технического обслуживания, т. е. ремонтпригодность прибора.

Однако в некоторых случаях выявление причин отказов приборов и их устранение практически нецелесообразно из-за больших затрат времени и снижения надежности. Например, в электронных самопишущих мостах и потенциометрах типов КСМ и КСП монтаж электронных схем выполняют на отдельных печатных платах. При определении неисправности вышедшая из строя печатная плата заменяется на новую.

Надежность прибора или автоматической системы зависит от надежности отдельных узлов и элементов конструкции; чем выше надежность составных элементов и узлов, тем выше надежность всего прибора.

Надежность автоматической системы понижается с повышением ее сложности. Это обязательно учитывают при проектировании и разработке схем автоматического управления и регулирования. В особых случаях, когда отказ автоматики может привести к тяжелым последствиям и нарушению правил техники безопасности при работе оборудования, предусматривается резервирование элементов автоматики или автоматическое включение резерва (АВР).

Практически надежность любого элемента автоматики измерить нельзя, так как она определяется целым рядом факторов. Основ-

ным математическим аппаратом теории надежности является теория вероятностей, оперирующая случайными величинами.

Вероятность безотказной работы прибора определяется по закону распределения $P = e^{-t/\tau_{\text{ср}}}$,

где P — вероятность безотказной работы за время t ; e — основание натуральных логарифмов ($e \approx 2,7171$), τ — средняя наработка до первого отказа.

Если при стендовых испытаниях установить время τ прибора, то можно определить вероятность безотказной работы прибора в течение заданного времени t . Например, если для электронного сигнализатора уровня типа ЭСУ время τ составляет 20 000 ч, а требуется определить P при 10 000 ч работы прибора, то

$$P = e^{-\frac{10\,000}{20\,000}} = e^{-\frac{1}{2}} = \frac{1}{\sqrt{e}} \approx \frac{1}{\sqrt{2,7}} \approx 0,6.$$

Вероятность безотказной работы прибора P показывает, что для данного типа прибора при наработке в 10 000 ч из десяти приборов шесть приборов проработают безотказно, а четыре прибора выходят из строя — произойдут отказы.

Чем меньше заданное время t , тем вероятность безотказной работы прибора выше.

Вероятность безотказной работы системы автоматического регулирования или контроля в заданном интервале времени t определяется произведением вероятности безотказной работы составляющих звеньев: $P_{\text{с}} = P_{\text{д}} P_{\text{рег}} P_{\text{и.м}} P_{\text{р.о.}}$, где $P_{\text{с}}$ — вероятность безотказной работы системы, $P_{\text{д}}$ — вероятность безотказной работы датчика, $P_{\text{рег}}$ — вероятность безотказной работы регулятора, $P_{\text{и.м}}$ — вероятность безотказной работы исполнительного механизма, $P_{\text{р.о.}}$ — вероятность безотказной работы регулирующего органа.

§ 7. Виды и причины отказов приборов

Отказ — событие, заключающееся в полной или частичной утрате изделием (прибором или системой в целом) работоспособности.

Отказы, их причины, закономерности возникновения и их устранение являются объектами, изучаемыми теорией надежности.

Состояние работоспособности приборов характеризуется двумя составляющими: функционированием и ожиданием.

Функционирование — работоспособное состояние, когда прибор соответствует всем техническим требованиям и выполняет свои функции.

Ожидание — работоспособное состояние, при котором прибор соответствует всем техническим требованиям и готов к выполнению своих функций.

Отказы в работе приборов и систем автоматики подразделяются на два основных вида: постепенные и внезапные.

Постепенные отказы являются следствием старения, изнашивания, температурных и механических перегрузок, коррозии,

разрушения и т. д. Все эти необратимые процессы приводят к постепенным изменениям технических характеристик прибора.

Внезапные отказы характеризуются резким скачкообразным изменением технических характеристик прибора. Внезапные отказы могут возникать как при неудовлетворительном качестве прибора и его конструкции, так и его использовании в условиях, на которые его конструкция не рассчитана.

Отказ прибора является случайным событием, в связи с этим время работы прибора до первого отказа, число отказов за определенное время эксплуатации и время работы между отказами также являются случайными величинами.

При работе автоматических систем и приборов на них действует целый ряд факторов: электромагнитные волны, тепловое излучение, химические превращения, механические нагрузки. Такие энергетические воздействия вызывают коррозию, износ, тепловые перегрузки, деформации и т. д., что приводит к повреждениям и отказам средств автоматики.

Влияние электрической, тепловой, химической и механической энергии на надежность прибора зависит от материалов, из которых изготовлен прибор. Материалы, применяемые в приборостроении, делятся на конструкционные, проводниковые, полупроводниковые и изоляционные (диэлектрики).

На надежность конструкционных материалов влияют механические воздействия. Переменная нагрузка приводит к большим износам, чем постоянная нагрузка. На надежность изоляционных материалов существенное влияние оказывают тепловое, химическое и механическое воздействия. На надежность проводниковых материалов основное воздействие оказывают тепловая и механическая нагрузки, при этом тепловое воздействие приводит к перегоранию проводников, а механическое — вызывает их разрывы.

Кроме того, климатические факторы — температура, давление, влажность, активность солнечной радиации, примеси пыли, солей и кислот — также являются причинами отказов приборов.

При изменении температуры изменяется сопротивление изоляции и диэлектрическая прочность, изменяются электрические и магнитные свойства металлов. Например, постоянные непроволочные резисторы (сопротивления) при изменении температуры от -60 до $+60^{\circ}\text{C}$ изменяют значения сопротивления на 15—25 %.

Влага вызывает коррозию металлов, изменение электрических свойств диэлектриков, уменьшает сопротивление изоляции и напряжение пробоя.

Пыль, песок, грязь способствуют быстрому износу кинематических узлов приборов, снижают сопротивление изоляции и т. д.

В табл. 30 показаны основные факторы, влияющие на надежность приборов.

В настоящее время приняты пять групп отказов: конструкторские, схемные, деталей, технологические, эксплуатационные.

Конструкторские отказы вызываются несовершенством и недоработкой конструкции; вследствие этого образуется напряженный режим узлов и деталей прибора.

Схемные отказы вызываются неправильным выбором основных технических параметров и характеристик прибора, а также неправильностью составления функциональной, структурной схем и выбора схемных решений узлов и блоков прибора.

Отказы деталей возникают из-за пониженной надежности самих деталей, неправильного выбора типов, номиналов и режимов использования деталей в приборах. Следствием этих причин является ускоренное старение и повышенный режим нагрузки прибора.

Технологические отказы возникают из-за несовершенства технологических процессов сборки, монтажа, регулировки и испытаний прибора в условиях производства.

Эксплуатационные отказы связаны с неправильным выбором типа прибора, отклонением от требований по монтажу и эксплуатации как во время хранения, профилактики, так и ремонта.

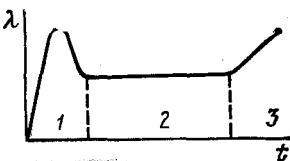


Рис. 219. Типовая кривая интенсивности отказов прибора (регулятора)

Эксплуатационные отказы вызываются также ошибками и недостаточной квалификацией обслуживающего персонала.

На рис. 219 показана типовая кривая интенсивности отказов прибора. Участок 1 кривой характеризует интенсивность отказов в стадии отработки прибора на заводе-изготовителе. Возросшая интенсивность отказов определяется использованием некачественных элементов, неправильной технологией и ошибками в расчетах.

Участок 2 характеризует работу прибора в эксплуатационных условиях и соответствует нормальному сроку эксплуатации прибора.

Участок 3 характеризует возросшую интенсивность отказов вследствие старения и износа элементов прибора.

§ 8. Методы контроля качества приборов

Контроль качества приборов является первостепенной задачей в повышении надежности и эффективности средств автоматизации во всех отраслях народного хозяйства страны. С этой целью неотъемлемой частью технологических процессов приборостроительных заводов являются испытания приборов.

При испытаниях производят проверку деталей, узлов, качества материалов, контроля точности, устойчивости и работоспособности с учетом влияния воздействующих факторов.

Виды испытаний приборов даны в табл. 31.

Предварительные испытания производят при разработке и изготовлении прибора с целью определения его работоспособно-

сти и оценки количественных значений его рабочих параметров и характеристик. Такие испытания производят на предприятии при изготовлении опытного образца прибора.

Государственные испытания производят с целью проверки количественных значений рабочих характеристик прибора на соответствие техническим условиям (ТУ). Обычно государственные испытания производят на месте установки прибора для эксплуатации.

Приемо-сдаточные испытания производят с целью систематической проверки соответствия прибора требованиям ТУ и конструкторской документации.

Кроме 100%-ной проверки изделий иногда производят выборочные испытания, когда испытывается несколько экземпляров или определенный процент от общего количества приборов, составляющих серию или партию.

Периодические испытания производят для периодического контроля уровня качества выпускаемых приборов согласно периодичности и объему испытаний, установленных ТУ.

Поверочные испытания производят при внесении изменений в конструкции, процессы производства и изменения принципиальной схемы прибора. При поверочных испытаниях производится проверка технических параметров, на которые могут повлиять вносимые изменения и замены.

По назначению испытания подразделяются на следующие виды: параметрические, механические, климатические, электротехнические, специальные.

Значительная роль в повышении качества приборостроения отводится новым прогрессивным методам контроля качества.

Входной контроль обеспечивает отбраковку по параметрам деталей и блоков, поступающих с заводов или смежных цехов. Это повышает качество выпускаемой продукции и уменьшает брак изделий по рабочим параметрам.

Ступенчатый контроль позволяет эффективно поэтапно определять качество деталей, узлов и элементов при блочном монтаже аппаратуры и приборов средней и большой сложности, а также значительно сократить время определения неисправностей при ремонте.

Одним из прогрессивных методов повышения качества приборов является также сдача продукции с первого предъявления комплексными бригадами и рабочими, имеющими личное клеймо.

Контрольные вопросы

1. Что такое надежность прибора, регулятора?
2. Что называется работоспособностью прибора?
3. Чем характеризуется безотказность прибора?
4. Как определяется вероятность безотказной работы автоматической системы?
5. Как классифицируются типы отказов приборов?
6. Какие факторы влияют на надежность приборов?
7. Какие виды испытаний приборов производят для контроля качества выпускаемых приборов?

8. Какое значение имеет смазка в повышении износостойкости приборов?
9. Какие типы смазок и масел используют при эксплуатации приборов и регуляторов?
10. Какие типы охлаждения используют в приборостроении?
11. Чем характеризуется сухое и жидкостное трение?
12. Для каких целей применяется герметизация приборов?
13. Чем характеризуется пропитка, заливка и опрессовка элементов в приборостроении?
14. Что такое физический износ прибора?
15. Дайте характеристику моральному износу прибора или системы.

ГЛАВА XIII

БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА

§ 1. Техника безопасности в цехах и на территории предприятия

Контроль за мероприятиями по охране труда и технике безопасности на промышленных предприятиях всех отраслей народного хозяйства возлагается на Президиум Всесоюзного Центрального Совета Профессиональных Союзов — ВЦСПС.

Технический инспектор Совета профсоюзов осуществляет контроль за состоянием техники безопасности на предприятиях и за соблюдением законодательства об охране труда.

Администрация предприятия постоянно должна разрабатывать и поддерживать безопасные условия производства, составлять производственные инструкции и инструкции по технике безопасности.

Каждый работник обязан периодически проходить инструктаж по вопросам охраны труда и безопасным приемам работы. Существуют три вида инструктажа — вводный, на рабочем месте и повторный.

Вводный инструктаж проводят при оформлении работника на предприятие. Инструктаж проводит инженер по технике безопасности. Задача инструктажа — ознакомление со спецификой предприятия, с правилами внутреннего распорядка, с правилами пользования защитными средствами, с противопожарными мероприятиями, электробезопасностью и приемами оказания первой медицинской помощи.

Инструктаж на рабочем месте проводит мастер, начальник участка или лаборатории. Работника знакомят с рабочим местом, оборудованием, технологией производства и безопасными приемами труда, а также с заводскими инструкциями, относящимися к данной профессии.

После обучения на рабочем месте и получения навыков безопасной работы квалификационная комиссия проверяет знание правил техники безопасности у работника и присваивает ему квалификационную группу.

Повторный инструктаж проводится администрацией с целью повышения знаний по технике безопасности и совершенствования безопасных приемов работы. Инструктаж включает противонаварийные тренировки, разбор и обобщение причин происшедших

несчастных случаев, проверку знаний действующих на предприятии инструкций по технике безопасности для данной профессии.

Администрация предприятия, имеющего технологическое оборудование по выработке горючих и взрывоопасных газов, а также склады ЛВЖ (легковоспламеняющихся жидкостей) и ГСМ (горюче-смазочных материалов), обязана разработать положение по технике безопасности на территории предприятия, с которым должны быть ознакомлены вновь поступающие работники.

§ 2. Классификация взрывобезопасности помещений и приборов

При эксплуатации приборов учитывают ряд факторов: класс помещения и установок, категорию и группу взрывоопасности.

Взрывоопасные помещения и установки подразделяют на шесть классов.

1. В-1 — помещения, в которых могут образоваться взрывоопасные смеси газов и паров при нормальных режимах работы.

2. В-1а — помещения, в которых взрывоопасные смеси не образуются при нормальных условиях, а могут образоваться при авариях или неисправностях оборудования.

3. В-1б — помещения, в которых могут образоваться горючие пары и газы, имеющие нижний предел воспламеняемости (15% и более); помещения, в которых возможно образование взрывоопасной концентрации на отдельных участках; помещения, в которых газы, пары и жидкость имеются в небольших количествах.

4. В-1г — наружные установки, имеющие горючие волокна и пыли, способные образовывать взрывоопасные смеси только при авариях.

5. В-П — помещения, имеющие горючие волокна и пыли, способные образовывать взрывоопасные смеси с воздухом и окислителями в нормальных условиях.

6. В-Па — помещения, имеющие горючие волокна и пыли, способные образовывать взрывоопасную концентрацию только при авариях.

Взрывоопасные смеси подразделяют на четыре категории, характеризующие способность передавать взрыв через фланцевые зазоры в оболочках приборов (электрооборудования).

Категория взрывоопасной смеси	1	2	3	4
Зазор (мм) между поверхностями длиной 25 мм, при котором частота передачи взрывов составляет 50% при объеме оболочки 2,5 л	>1,0	0,65—1,0	0,35—0,65	<0,35

Кроме того, взрывоопасные смеси имеют пять групп в зависимости от температуры самовоспламенения:

Группа взрывоопасной смеси	T1	T2	T3	T4	T5
Температура самовоспламенения, °С	>450	300—450	200—300	135—200	100—135

В связи с указанными характеристиками приборы (электрооборудование) имеют по уровню взрывозащиты следующие исполнения: В — взрывонепроницаемое, М — маслонаполненное, Н — повышенной надежности против взрывов, П — продуваемое под давлением, исключающее образование взрывоопасных смесей внутри корпуса, И — искробезопасное, С — специальное.

Все приборы по новой классификации взрывозащищенности снабжены условной маркировкой. Например, маркировка В1Т2 обозначает, что прибор выполнен во взрывонепроницаемом исполнении и предназначен для работы с взрывоопасными смесями категории 1, группы Т2.

§ 3. Поражающие факторы электрического тока. Классификация электроустановок и помещений

Электрический ток характеризуется тремя поражающими факторами: электроудар, электроожог и электросудорога.

Электроудары наиболее ярко выражены в электроустановках свыше 1000 В, электросудороги — в электроустановках до 1000 В и электроожог — в электроустановках до и свыше 1000 В. Ток величиной в 0,1 А, действующий на организм человека более 1—2 с, является смертельным. Величина тока, проходящего по телу человека, попавшего под напряжение, зависит от напряжения действующей электроустановки и сопротивления тела человека. Сопротивление человека определяется рядом факторов: физическим и психическим состоянием, подготовленностью к работе и т. д. Например, сопротивление человека при утомлении и опьянении резко падает.

Ориентировочное сопротивление здорового человека с сухой кожей составляет 100—150 кОм, а при болезни и влажной коже — 1—5 кОм. Ток, проходящий через тело человека, попавшего под напряжение, определяется выражением: $I_{\text{чел}} = U_{\text{уст}} / R_{\text{чел}}$, где $U_{\text{уст}}$ — напряжение установки, $R_{\text{чел}}$ — сопротивление тела человека.

Для сравнения определим величину тока, проходящего через тело человека, имеющего сопротивление 100 кОм и 1 кОм (здорового и больного человека), попавшего под напряжение 380 В: $I_{\text{чел}} = 380 / 100 \cdot 10^3 \approx 0,004$ А; $I_{\text{чел}} = 380 / 1000 = 0,38$ А.

В первом случае человек еще способен управлять своими мышцами и может самостоятельно освободиться от напряжения, а во втором — величина тока уже является смертельно опасной.

Наиболее опасным случаем поражения электрическим током является прохождение тока через сердце. Сердце и органы дыхания прекращают свою работу и наступает смерть.

Факторами, повышающими опасность поражения человека электрическим током, являются сырость помещений, наличие токопроводящих металлических и железобетонных полов. Поэтому в таких помещениях запрещается использовать переносной рабочий инструмент, работающий от сети с напряжением выше 36 В.

Электроустановки промышленных предприятий по условиям электробезопасности делятся на две категории — до 1000 В и свыше 1000 В.

Помещения электроустановок по электробезопасности классифицируются на три класса: помещения без повышенной опасности; помещения с повышенной опасностью; особо опасные помещения.

Помещения без повышенной опасности — сухие, отопляемые, непыльные, с токонепроводящими полами.

Помещения с повышенной опасностью характеризуются наличием металлических, земляных и кирпичных полов, сыростью, высокой температурой и возможностью одновременного прикосновения человека к заземленным частям и корпусам электрооборудования, которые могут оказаться под действующим напряжением при пробое или повреждении изоляции.

Помещения особо опасные характеризуются наличием химически активной среды, особой сырости или двух и более условий повышенной опасности.

§ 4. Подготовка персонала к работе в электроустановках до 1000 В

До назначения на самостоятельную работу в электроустановках персонал обязан пройти обучение на своем рабочем месте с целью ознакомления с оборудованием, приобретения практических навыков, изучения производственных инструкций, правил технической эксплуатации (ПТЭ) и правил техники безопасности (ПТБ) при эксплуатации электроустановок потребителей.

Обучение производится под руководством опытного работника и под контролем лица, ответственного за эксплуатацию данной установки.

После обучения персонал проходит проверку знаний по ПТЭ, и ПТБ, знаний должностных и производственных инструкций. Знания проверяет специальная комиссия, утвержденная главным энергетиком предприятия. Комиссия выдает удостоверение на допуск к самостоятельной работе в электроустановках, а администрация цеха оформляет распоряжение по цеху о допуске к самостоятельной работе.

Согласно ПТБ для персонала, обслуживающего действующие электроустановки, комиссией производится периодическая (1 раз в год) проверка знаний настоящих правил и производственных инструкций.

§ 5. Организационные и технические мероприятия при производстве работ в электроустановках

При выполнении работ в действующих электроустановках согласно ПТБ должен быть выполнен целый ряд мероприятий, направленных на обеспечение безопасности проводимых работ.

Действующей электроустановкой называется установка, содержащая в себе источник электроэнергии (химические,

гальванические и полупроводниковые элементы), которая находится под напряжением или на которую в любой момент может быть подано напряжение включением коммутационной аппаратуры— выключателями, разъединителями, автоматами и т. д.

По отношению мер безопасности производимые работы в электроустановках подразделяются на четыре категории: с полным снятием напряжения, с частичным снятием напряжения, без снятия напряжения вблизи и на токоведущих частях, находящихся под напряжением, без снятия напряжения вдали от токоведущих частей, находящихся под напряжением.

Работой с полным снятием напряжения считается такая работа, которую выполняют на отключенной электроустановке и где нет незапертого входа в соседнюю электроустановку, находящуюся под напряжением.

Работой с частичным снятием напряжения считается такая работа, которую выполняют в электроустановке, со снятым напряжением только на тех участках, где выполняется работа или где напряжение полностью снято, но есть незапертый вход в электроустановку, находящуюся под напряжением.

Работой без снятия напряжения вблизи и на токоведущих частях, находящихся под напряжением, считается работа, при которой требуется принять технические и организационные меры, предотвращающие возможность приближения работающих людей к токоведущим частям.

Работой без снятия напряжения, выполняемой вдали от токоведущих частей, находящихся под напряжением, считается работа, при которой исключено случайное приближение работающих людей и используемых инструментов к токоведущим частям на опасное расстояние и не требует принятия технических и организационных мер.

Организационные мероприятия, обеспечивающие безопасность работ в электроустановках, включают следующие пункты: оформление работ нарядом или распоряжением, допуск к работе, надзор во время работы, оформление перерывов, переводов на другое рабочее место и окончания работы.

По распоряжению работу выполняют в электроустановках с полным или частичным снятием напряжения с продолжительностью работы не свыше одного часа, а также работы без снятия напряжения вдали от токоведущих частей, находящихся под напряжением.

Работы по распоряжению оформляют в оперативном журнале. В оперативном журнале записывают порядковый номер распоряжения, указывается, кем дано распоряжение, место и срок выполнения работы, состав бригады и их квалификационная группа.

По наряду выполняют работы всех категорий, кроме работ без снятия напряжения вдали от токоведущих частей, находящихся под напряжением.

Наряд — письменное распоряжение на производство работ в

электроустановке, определяющее место, время начала и окончания работ, условия ее безопасного проведения, состав бригады и лиц, ответственных за безопасность работ. Наряд заполняет ответственный руководитель в двух экземплярах. Один экземпляр выдается на руки производителю работ, другой — остается у ответственного руководителя после оформления допуска к работе и подписи в наряде допускающего и производителя работ. Наряд действителен на срок не более пяти дней. После ежедневного окончания работ наряд с подписью ответственных лиц должен сдаваться дежурному или ответственному производителю работ.

Допуск к работе заключается в обеспечении всех мер безопасности, указанных в наряде или распоряжении, и непосредственно допуску рабочей бригады к месту работы.

Допускающий обязан: проверить выполнение технических мероприятий;

проверить состав бригады согласно наряду (распоряжению) и квалификацию лиц, включенных в бригаду;

зачитать по наряду содержание работы, фамилии ответственных лиц за безопасность проведения работ и членов бригады, объяснить, какие части установки остались под напряжением;

доказать бригаде отсутствие напряжения на месте проведения работ прикосновением руки к данной части электроустановки.

После допуска бригады и подписи в двух экземплярах наряда допускающего и руководителя работ бригада может приступить к выполнению работы.

Надзор во время работы. После допуска бригады к работе производитель работ не имеет права покидать рабочее место и оставлять бригаду без надзора. Члены бригады при необходимости могут покинуть место работы. Производитель работ не имеет права уходить с рабочего места до возвращения отлучившихся членов бригады.

Если производитель работ должен отлучиться, то необходимо вывести бригаду с места производства работ и запереть вход до своего возвращения.

Производитель работ и члены бригады должны знать, что части электроустановки, находящиеся за пределами рабочего места, могут оказаться под напряжением, поэтому приближаться к частям электроустановки за пределами рабочего места, определенного нарядом, запрещается.

Оформление перерывов, переводов и окончания работ. При перерывах в работе бригада должна уходить с места работы, а наряд остается у производителя работ.

Плакаты и ограждения остаются на рабочем месте. После окончания перерыва производитель работ собирает бригаду к месту работы.

Работы, выполняемые на следующий день, могут производиться после осмотра места работы и проверки мер безопасности ответственным руководителем или производителем работ.

Если бригада выполняет работу по одному наряду в несколь-

ких местах электроустановки, то подготавливают все рабочие места, а работающие допускаются только на одно рабочее место. Перевод бригады на другое место оформляется в таблице наряда.

После окончания работ рабочее место принимает ответственный руководитель и оформляет подписью в наряде. Наряд закрывают только после осмотра места работы.

Технические мероприятия направлены на обеспечение безопасности работ в электроустановках. При подготовке рабочего места при ремонтных работах в электроустановках с частичным и полным снятием напряжения требуется выполнить в определенной последовательности следующие мероприятия:

произвести необходимые отключения и принять меры, препятствующие подаче напряжения к месту работы, вследствие ошибочного или самопроизвольного включения коммутационной аппаратуры;

вывесить плакаты (см. табл. 32) на приводе «Не включать — работают люди», а при производстве работ на линиях электропередач — «Не включать — работа на линии» и при необходимости установить ограждение;

присоединить к «земле» переносное заземление, а затем проверить отсутствие напряжения на токоведущих частях, на которые должно быть наложено заземление;

после проверки отсутствия напряжения наложить заземление на ремонтируемые токоведущие части;

вывесить плакат «Заземлено», «Работать здесь» и установить при необходимости ограждение рабочего места.

При отключении напряжения соблюдать меры безопасности, а при отключении трансформаторов и сложных схем предусматривают меры, исключающие появления напряжения на отключенной части установки.

Для исключения случаев самопроизвольного включения автоматов, электро- и пневматических приводов предусматривается их фиксация специальными или блокировочными замками; в электроприводах в цепях управления снимают предохранители, а в пневматических приводах запирают вентили подачи воздуха.

При отключении напряжения используют защитные средства — штанги, диэлектрические перчатки и т. д.

Проверка отсутствия напряжения может проводиться специальным индикатором напряжения ТИ-2, УНН-90, вольтметром или контрольной лампой. Перед употреблением и проверкой отсутствия напряжения на отключаемой части электроустановки такие индикаторы и приборы должны быть проверены на работающей установке. После проверки указателя напряжения выполняют проверку отсутствия напряжения на отключенной части электроустановки, прикасаясь прибором ко всем фазам и выводам отключенной части.

Наложение заземлений на части электроустановки выполняется для обеспечения безопасности работ при ошибочной подаче напряжения.

Заземлением называется соединение какой-либо части электроустановки (корпуса) с заземлителем, т. е. проводником, находящимся под нулевым потенциалом земли.

Переносное заземление после проверки отсутствия напряжения и присоединения его к «земле» накладывается с помощью изолирующей штанги на отключенные токоведущие части (на три фазы) и закрепляют с помощью зажимов вручную (в диэлектрических перчатках).

Снятие заземлений выполняется в обратном порядке: сначала снимают струбины с токоведущих частей, а затем заземление отключается от «земли» или заземляющей шины.

Переносное заземление должно выполняться гибким медным проводом сечения не менее 25 мм². Каждое заземление должно иметь свой порядковый номер и храниться в определенных местах.

Наложение и снятие переносных заземлений должно учитываться по оперативной схеме, в оперативном журнале и в наряде.

§ 6. Техника безопасности при работе с переносным электроинструментом

Переносной электроинструмент и переносные лампы используют при ремонтах оборудования, поэтому этот инструмент подвержен сравнительно быстрому износу в результате старения изоляции проводов, обмоток, замыканий на землю и т. д.

В связи с этим весь электроинструмент согласно ПТБ должен удовлетворять основным требованиям:

быстро включаться и отключаться от электрической сети;

быть безопасным в работе и иметь недоступные для случайного прикосновения токоведущие части.

В зависимости от категории помещения напряжение питания электроинструмента не должно превышать 220 В в помещениях без повышенной опасности и не выше 36 В в помещениях с повышенной опасностью и вне помещений.

Переносная лампа-типа СР (светильник ручной) выполнена таким образом, что исключается возможность прикосновения к токоведущим частям. Рукоятка светильника имеет специальный пояс для крепления сетчатого предохранительного ограждения, патрон лампы закрепляется в корпусе рукоятки, а сама лампа закрывается стеклянным колпаком. Светильник имеет резиновый шланговый провод длиной 15—20 м.

Электроинструмент должен иметь свой порядковый номер. Перед выдачей инструмент проверяют на стенде или мегомметром в отношении исправности и целостности изоляции и заземляющего провода.

Передача электроинструмента другому лицу категорически запрещается.

При использовании переносного понижающего трансформатора для подключения электрических светильников или электроинструмента требуется убедиться в исправности заземления вторичной (понижающей) обмотки трансформатора.

В особо опасных помещениях (в металлических баках, емкостях, котлах) надо использовать электроинструмент на напряжение не свыше 12 В с обязательным применением диэлектрических перчаток, коврика и т. д.

Непосредственно перед началом работ электроинструмент должен быть проверен на состояние заземляющего провода, отсутствие изломов жил, состояние щеток и коллектора, исправность редуктора и надежности крепления всех деталей электроинструмента.

§ 7. Защитные средства. Сроки испытания и правила пользования

Защитными средствами называются приборы, аппараты, приспособления и устройства, служащие для защиты персонала, работающего на электроустановках от поражения электрическим током, воздействия электрической дуги, продуктов ее горения и т. п.

К защитным средствам относятся (рис. 220); инструмент и приспособления для работы под напряжением (изолирующие оперативные штанги, изолирующие клещи, указатели напряжения); изолирующие измерительные штанги и токоизмерительные клещи; изолирующие лестницы, изолирующие тяги, захваты и инструмент с изолированными рукоятками; резиновые диэлектрические перчатки, боты, галоши, коврики, изолирующие подставки; переносные заземления; временные ограждения, предупредительные плакаты, изолирующие накладки и т. д.; защитные очки, противогаз, предохранительные пояса и страхующий канат.

Все защитные средства делятся на две группы: основные и дополнительные.

Основными защитными средствами называются средства, изоляция которых надежно выдерживает рабочее напряжение и

с помощью которых допускается прикасаться к токоведущим частям, находящимся под напряжением.

Дополнительными защитными средствами называются такие средства, которые сами по себе не могут при данном напряжении обеспечить безопасность от поражения током. Такие средства используются с основными средствами.

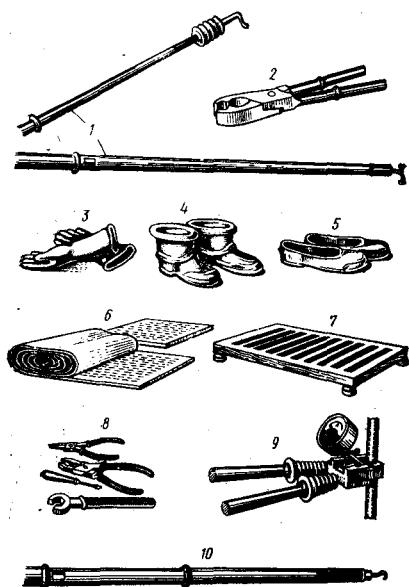


Рис. 220. Защитные средства для работы в электроустановках:

1 — изолирующие штанги, 2 — изолирующие клещи, 3 — диэлектрические перчатки, 4 — диэлектрические боты, 5 — диэлектрические галоши, 6 — резиновые коврики и дорожки, 7 — изолирующая подставка, 8 — инструмент с изолированными ручками, 9 — токоизмерительные клещи, 10 — указатель напряжения

К основным защитным средствам в электроустановках до 1000 В относятся: диэлектрические перчатки, инструмент с изолированными ручками, указатели напряжения.

К дополнительным защитным средствам в электроустановках до 1000 В относятся: диэлектрические галоши, диэлектрические коврики, изолирующие подставки.

Диэлектрические перчатки, используемые в электроустановках до 1000 В, испытывают один раз в 6 месяцев напряжением 3,5 кВ. Инструмент с изолированными ручками испытывают один раз в год напряжением 2,5 кВ. При нарушении изоляции инструмента, образовании трещин в изоляционном покрытии применять инструмент как основное средство защиты в установках до 1000 В запрещается.

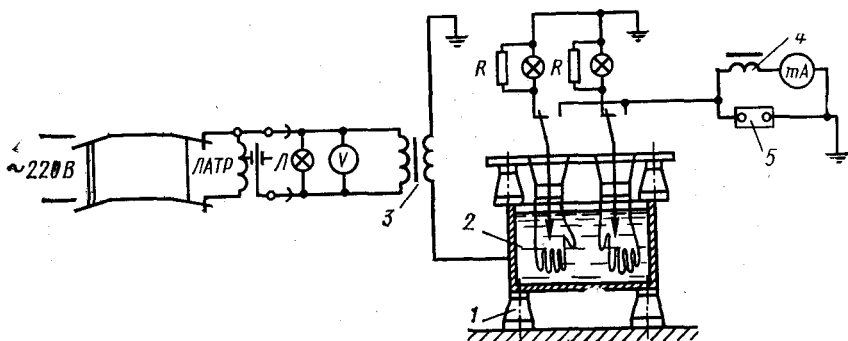


Рис. 221. Схема испытания диэлектрических перчаток, бот и галош повышенным напряжением:

1 — изолятор, 2 — ванна, 3 — трансформатор, 4 — дроссель, 5 — разрядник

Пассатижи, плоскогубцы и другой инструмент должны иметь свой порядковый номер.

Диэлектрические галоши, коврики и подставки также испытывают повышенным напряжением: галоши — 5 кВ один раз в год, коврики — 5,5 кВ один раз в 2 года, подставки — 40 кВ один раз в 2 года.

Перчатки, боты и галоши испытывают в специальной ванне, заполненной водой (рис. 221). Вода также заливается и внутрь испытываемых изделий.

Уровень воды как снаружи, так и внутри при испытании должен быть на 5 см ниже края перчаток и бот, для галош этот уровень должен составлять 2 см. Выступающие края испытываемых средств должны быть сухими. Один электрод опускается в ванну, другой — в испытываемое изделие. С помощью испытательного трансформатора и автотрансформатора поднимают необходимое напряжение, а по миллиамперметру определяют ток утечки. Если ток утечки превышает допустимые нормы, установленные ПТБ, изделие бракуют.

§ 8. Первая помощь при поражении электрическим током

Правильные и умелые действия при освобождении пострадавшего от действующего напряжения во многом определяют его дальнейшее состояние. Если пострадавший находится под напряжением, требуется немедленно принять меры к его освобождению.

В установках до 1000 В для этих целей можно использовать сухую одежду, доску, палку, канат и другие изолирующие предметы. Кроме того, при освобождении следует учитывать конкретные обстоятельства.

В случае нахождения пострадавшего на высоте, отключение установки может привести к падению пострадавшего, поэтому должны быть предусмотрены меры, обеспечивающие его безопасное падение.

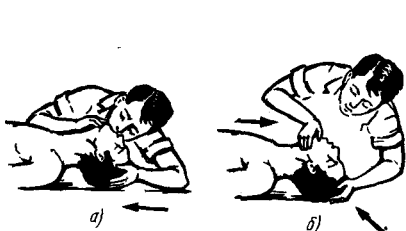


Рис. 222. Проведение приема искусственного дыхания:
а — вдох, б — выдох

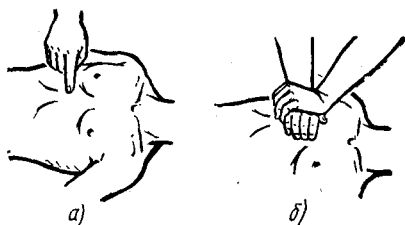


Рис. 223. Наружный массаж сердца:
а — место проведения массажа, б — положение рук при проведении массажа

Меры первой помощи зависят от состояния пострадавшего после освобождения от электрического тока. Поэтому пострадавшего требуется немедленно положить на спину на твердую поверхность и проверить дыхание, пульс и состояние зрачков. Широкий зрачок указывает на резкое ухудшение кровоснабжения мозга. Одновременно вызывают скорую помощь.

Если пострадавший находится в бессознательном состоянии, но есть пульс и дыхание, то его требуется уложить, расстегнуть одежду, создать приток свежего воздуха, дать понюхать нашатырный спирт.

Если пострадавший плохо дышит, ему требуется делать искусственное дыхание и массаж сердца.

При отсутствии у пострадавшего дыхания и пульса делается искусственное дыхание и массаж сердца до прибытия врача.

Искусственное дыхание выполняется немедленно после освобождения пострадавшего от электрического тока.

Если во время выполнения искусственного дыхания пострадавший пошевелит губами или веками, сделает глотательное движение и начнет дышать самостоятельно, то искусственное дыхание требуется прекратить.

Наиболее эффективным способом искусственного дыхания является метод «рот в рот», при котором оказывающий помощь производит выдох воздуха из своих легких в легкие пострадавшего

либо через специальное приспособление или непосредственно в рот или нос пострадавшего.

Для выполнения искусственного дыхания пострадавшего требуется уложить на спину, раскрыть рот и запрокинуть голову назад. При вдувании воздуха в рот или нос используют марлю, носовой платок, салфетку и т. д. Оказывающий помощь плотно прижимает свой рот к лицу пострадавшего таким образом, чтобы своим ртом охватить весь рот пострадавшего, а своим лицом зажать ему нос (рис. 222, а). После этого спасающий откидывается назад и делает вдох, грудная клетка пострадавшего опускается, он делает произвольно пассивный выдох (рис. 222, б). Интенсивность вдохов должна составлять 10—12 раз в минуту до полного восстановления дыхания пострадавшего и прибытия врача.

Для поддержания кровообращения совместно с искусственным дыханием производится наружный массаж сердца (рис. 223). Оказывающий помощь должен встать на колени рядом с пострадавшим, определить положение нижней трети грудины, положить на нее верхний край ладони разогнутой руки, а затем поверх руки положить другую руку. Надавливать на прудь с помощью рук надо быстрым энергичным толчком так, чтобы прогнуть вниз грудину на 3—4 см. Частота надавливаний должна составлять 60 раз в минуту.

При правильном проведении искусственного дыхания и массажа сердца у пострадавшего улучшается цвет лица, появляется самостоятельное дыхание и суживаются зрачки.

Для проверки пульса прерывают на несколько секунд массаж сердца и если пульс сохраняется, то сердце работает самостоятельно. При отсутствии пульса массаж сердца немедленно возобновляют. После появления первых признаков оживления массаж и искусственное дыхание продолжают в течение 5—10 мин в такт с собственным дыханием пострадавшего.

Контрольные вопросы

1. Какими поражающими факторами характеризуется электрический ток?
2. На какие классы делятся помещения электроустановок?
3. Какая электроустановка называется действующей?
4. В чем заключаются организационные мероприятия при производстве работ в электроустановках?
5. Назовите порядок выполнения технических мероприятий при производстве работ в электроустановках до 1000 В.
6. Расскажите порядок осмотра и проверки перед работой переносного электроинструмента.
7. Как освободить пострадавшего от электрического тока?
8. Расскажите метод искусственного дыхания «рот в рот».

1. Характеристики отечественных фотоаппаратов

Тип фотоаппарата	Формат кадра, мм	Съемочный объектив (основной)	Визир	Устройство для наводки на резкость	Тип затвора	Способ установки экспозиционных параметров
Киев-Вега	10×14	„Инду-стар-М“ 3,5/23,1	Оптический	Нет	Шторный	Неавтоматический
„Смена-8“	24×36	„Т-22“ 4,0/40	То же	Шкала постоянной	Центральный	То же
„Зоркий-6“	24×36	„Инду-стар-26М“ 2,8/50	Объединенный оптический визир-дальномер		Шторный	„ „
„Зоркий-10“	24×36	„Инду-стар-63“ 2,8/40	То же		Центральный	Автоматический
„Ленинград“	24×36	„Юпитер-8“ 2/50	„ „		Шторный	Неавтоматический
„Киев-4“	24×36	„Юпитер-8“ 2/50	„ „		„	То же
„Зенит-5“	24×36	„Вега-3“, 2,8/50	Зеркальный визир-дальномер		Центральный	Полуавтоматический
„Зенит-6“	24×36	„Рубин-1Ц“ 2,8/37—80	То же		„	То же
„Зенит-Е“	24×36	„ „	Наводка на резкость по матовому стеклу		Шторный	Неавтоматический
„Старт“	24×36	„Гелиос-44“ 2/58	То же		Шторный	Неавтоматический
„Любитель-2“	60×60	„Т-22“ 4,5/75	То же		Центральный	То же

2. Характеристика основных типов термoeлектрических термометров

Тип	Градировка	Материал термоэлектродов	Область измеряемых температур, °C		Значение ЭДС, мВ
			рабочий диапазон	кратковременный диапазон	
ТПП	ПП-1	Платинородий (10% родия) — платина	От —20 до +1300	1600	0—16,7
ТПР	ПР30/6	Платинородий (30% родия) — платинородий (6% родия)	От +300 до +1600	1800	0—13,9
ТХА	ХА	Хромель — алюмель	От —50 до +1000	1300	От —1,86 до +52,4
ТХК	ХК	Хромель — копель	От —50 до +600	800	От —3,11 до +66,4

3. Технические характеристики термометров сопротивления

Тип	Градун-ровка	Диапазон измерения, °C	R_0 , Ом	Допустимые отклонения R_0 , ± Ом, для классов точности		
				К-I	К-II	К-III
Платиновый ТСП	Гр. 20	0—650	10	0,05	0,1	—
	Гр. 21	От —200 до +750	46			
	Гр. 22	„ —200 „ +750	100			
Медный ТСМ	Гр. 23	От —50 до +180	53	—	0,1	0,1
	Гр. 24	„ —50 „ +180	100			

4. Градуировочная таблица платинового термометра сопротивления (ТСП) градуировки Гр. 21 ($R_0 = 46,00$ Ом)

Темпе-ратура, °C	Температура, °C									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	46,00	47,82	49,64	51,45	53,26	55,06	56,86	58,65	60,43	62,21
100	63,99	55,76	67,45	69,28	71,03	72,78	74,52	76,26	77,99	79,71
200	81,43	83,15	84,86	86,56	88,26	89,96	91,64	93,33	95,00	96,68
300	98,34	100,01	101,66	103,31	104,96	106,60	108,23	109,86	111,48	113,10
400	114,72	116,32	117,93	119,52	121,11	122,70	124,28	125,86	127,43	128,99
500	130,55	132,10	133,65	135,20	136,73	138,27	139,79	141,32	142,83	144,34
600	145,85	147,35	148,84	150,33	151,81	153,30	—	—	—	—

5. Градуировочная таблица медного термометра сопротивления (ТСМ) градуировки Гр. 23 ($R_0 = 53$ Ом)

Температура, °C	0	—10	—20	—30	—40	—50	—	—	—
Сопротивление, Ом	53,00	50,74	48,48	46,23	43,97	41,71	—	—	—
Температура, °C	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Сопротивление, Ом	55,26	57,52	59,77	62,03	64,29	66,55	68,81	71,06	73,32

6. Градуировочная таблица платинового термометра сопротивления (ТСП) градуировки Гр. 22 ($R_0 = 100$ Ом)

Тем-пера-тура, °C	Температура, °C									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	100,00	103,96	107,91	111,85	115,78	119,70	123,60	127,49	131,37	135,24
100	139,10	142,95	146,78	150,60	154,41	158,21	162,00	165,78	169,54	173,29
200	177,03	180,76	184,48	188,18	191,88	195,56	199,23	202,89	206,53	210,17
300	213,79	217,40	221,00	224,59	228,17	231,73	235,29	238,83	242,36	245,88
400	249,38	252,88	256,36	259,83	263,29	266,74	270,18	273,60	277,01	280,41
500	283,80	287,18	290,55	293,91	297,25	300,58	303,90	307,21	31,50	313,79
600	317,06	320,32	323,57	326,80	330,03	333,25	—	—	—	—

7. Характеристика компенсационных проводов

Тип термо-электрического термометра	Положительный зажим		Отрицательный зажим		Обозначение	Сопротивление 1 м провода при сечении 2,5 мм, Ом
	материал	цвет изоляции	материал	цвет изоляции		
Хромель — алюминель	Медь	Красный (розовый)	Константан	Коричневый	М	0,2
	Хромель	Фиолетовый (черный)	Алюмель	Серый (белый)	ХА	0,4
Хромель — копель	"	То же	Копель	Желтый (оранжевый)	ХК	0,46
Платинородий — платина	Медь	Красный (розовый)	Сплав ТП	Зеленый	П	0,02

8. Таблица для проверки потенциометров, работающих с термопарами Гр. III-1

Температура медной катушки, °C	Расчетные значения э. д. с., мВ, для проверяемой отметки шкалы, °C								
	0	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600
18	-0,101	1,335	3,148	5,119	7,224	9,463	11,822	14,237	16,613
19	-0,107	1,329	3,142	5,113	7,218	9,457	11,816	14,231	16,607
20	-0,112	1,324	3,137	5,108	7,213	9,452	11,811	14,225	16,602
21	-0,118	1,318	3,131	5,102	7,207	9,446	11,805	14,220	16,596
22	-0,124	1,312	3,125	5,096	7,201	9,440	11,799	14,214	16,590
23	-0,131	1,305	3,118	5,089	7,194	9,433	11,792	14,207	16,583
24	-0,137	1,299	3,112	5,083	7,188	9,427	11,786	14,201	16,577
25	-0,143	1,293	3,106	5,077	7,182	9,421	11,780	14,195	16,571
26	-0,149	1,287	3,100	5,071	7,176	9,415	11,774	14,189	16,565
27	-0,155	1,281	3,094	5,065	7,170	9,409	11,768	14,183	16,559
28	-0,161	1,275	3,088	5,059	7,164	9,403	11,762	14,177	16,553
29	-0,167	1,269	3,082	5,053	7,158	9,397	11,756	14,171	16,547
30	-0,173	1,263	3,076	5,047	7,152	9,391	11,750	14,165	16,541

9. Соотношение единиц давления

Единица давления	Па	мм рт. ст.	кг/см ²
Па	1	750 · 10 ⁻⁵	1,02 · 10 ⁻⁵
мм рт. ст.	1,333 · 10 ²	1	1,360 · 10 ⁻³
кг/см ²	0,981 · 10 ⁵	736	1

10. Технические данные мембранных приборов давления, Па

Напоромеры НМП-52	Тягомеры ТМП-52	Тягонапоромеры ТНМП-52
От 0 до +250	От -250 до 0	±125
" 0 » +400	" -400 " 0	±200
" 0 » +630	" -630 " 0	±315
" 0 » +1000	" -1000 " 0	±500
" 0 » +1600	" -1600 " 0	±800
" 0 » +2500	" -2500 " 0	±1250
" 0 » +4000	" -4000 " 0	±2000
" 0 » +6300	" -6300 " 0	±3150
" 0 » +10000	" -10000 " 0	±5000
" 0 » +16000	" -16000 " 0	±8000
" 0 » +25000	" -25000 " 0	±12500

11. Технические данные саморишущих манометров

Обозначения типов	Наименование	Привод диаграммы	Пределы измерения, кгс/см²
МТС-711	Манометр однозаписной	Синхронный мик-	0—0,6; 0—1
MT2C-711	Манометр двухзаписной	родвигатель	0—1,6; 0—2,5; 0—4; 0—6
МТС-712	Манометр однозаписной	Часовой механизм	0—10; 0—16; 0—25; 0—40
MT2C-712	Манометр двухзаписной		0—60; 0—100; 0—160; 0—250; 0—400; 0—600; 0—1000; 0—1600
ВТС-711	Вакуумметр однозаписной	Синхронный мик-	От —0,6 до 0
BT2C-711	То же		
ВТС-712	Вакуумметр двухзаписной	Часовой механизм	» —1 » 0
BT2C-712	То же		
MBTC-711	Мановакуумметр однозаписной	Синхронный мик-	» —1 » 0—0,6
MBT2C-711	Мановакуумметр двухзаписной	родвигатель	» —1 » 0—3
MBTC-712	Мановакуумметр однозаписной	Часовой механизм	» —1 » 0—5
MBT2C-712	Мановакуумметр двухзаписной		» —1 » 0—9 » —1 » 0—15

12. Магнитная восприимчивость некоторых газов при 0°C

Газ	Магнитная восприимчивость χ (см·г·с)
Кислород	+146
Воздух	+30,8
Окись азота	+53
Двуокись азота	+9
Водород	—0,164
Азот	—0,58
Аргон	—0,86

13. Теплопроводность некоторых газов

Газ	Теплопроводность λ , (кал·см⁻¹·с⁻¹·град⁻¹)
Гелий	3480
Водород	4021
Воздух	577
Углекислый газ	349
Азот	577
Аргон	391
Хлор	188
Ксенон	124

14. Нормы предельных концентраций вредных газов и их паров

Газы, пары	Нормы предельных концентраций вредных паров и газов, мг/л	Газы, пары	Нормы предельных концентраций вредных паров и газов, мг/л
Аммиак	0,02	Фенол	0,005
Бензол	0,02	Фосфор желтый	0,00003
Бензин (растворитель)	0,3	Фосген	0,0005
Бензин (топливный)	0,1	Хлор	0,001
Дихлорэтан	0,01	Четыреххлористый уг-	
Хлористый водород	0,01	лерод	0,02
Цианистый водород и цианиды	0,0003	Ацетон	2,0
		Бензин	1,0

15. Нормы границ взрываемости газов и их паров с воздухом

Газ или пар	Нормы границ взрываемости в смеси с воздухом при 1 кгс/см ² и комнатной температуре объемные, %		Газ или пар	Нормы границ взрываемости в смеси с воздухом при 1 кгс/см ² и комнатной температуре объемные, %	
	нижняя	верхняя		нижняя	верхняя
Ацетон	2,0	57,0	Метан	5,0	15,0
Бензин	1,0	7,0	Пропан	2,4	9,5
Бензол	1,4	9,5	Газ природный	4,75	70
Этан	3,2	12,5	Водород	4,0	75,2

16. Таблица применимости электронных регуляторов типа РПИБ

Первичные преобразователи	Тип		Регулируемые параметры
	измерительного блока	регулирующего прибора	
Дифференциально-трансформаторный или индуктивный (три входа)	И-III	РПИБ-III	Уровень, разрежение, давление, расход
То же (четыре входа)	И-IV	РПИБ-IV	
Термометр сопротивления (один)	И-С	РПИБ-С	Температура
То же (два)	И-2С	РПИБ-2С	
Термопара (одна)	И-Т	РПИБ-Т	
„ (две)	И-2Т	РПИБ-2Т	
Солемер (один) дифференциально-трансформаторный или индукционный преобразователь (два)	И-НК	РПИБ-НК	Солесодержание в воде
Кислородомер (один) и дифференциально-трансформаторный или индукционный преобразователь (два)	И-МК	РПИБ-МК	Содержание кислорода в газах
Трансформатор тока (один) и дифференциально-трансформаторный преобразователь (один)	И-М	РПИБ-М	Активная мощность в цепях переменного тока

17. Характеристики основных типов реле

Тип реле	Мощность срабатывания, Вт	Коммутируемая мощность, Вт	Время срабатывания, мс
Электромагнитное	10^{-3} — 10^3	10^{-1} — 10^{-4}	1—200
Электромагнитное поляризованное	$5 \cdot 10^{-3}$ — $5 \cdot 10^{-1}$	10—20	1—15
Магнитоэлектрическое	10^{-9} — 10^{-4}	0,1—2	10—500
Электронное	10^{-12} — 10^{-8}	10^{-3} — 10^2	10^{-6} — 10^{-5}
Тиратронное	10^{-4} — 10^{-3}	10^2 — 10^3	10^{-3} — 10^{-2}

18. Основные технические данные реле типа РР

Тип реле	Максимальная частота включения в 1 с	P_{cp} , мВт	t_{cp} , мс	Способ настройки контактов
РР-4	200	0,01—0,16	2,5—4,5	Нейтральная
РР-5	200	0,01—0,16	7—13	Трехпозиционная
РР-7	100	0,16—1,0	3—5	На преобладание

19. Периодичность поверки приборов контроля

Рабочие приборы	Кто проводит поверку	Периодичность поверки (не реже)
Дифманометры-расходомеры учетные и коммерческие	ГМС	1 раз в год
То же, технологические	ВМС	1 раз в год
Приборы давления по перечню ГГТН	ГМС	1 раз в год
Технические манометры	ВМС	1 раз в год
Приборы для измерения давления, разрежения, перепада и напора; технологические уровнемеры		1 раз в один или в два года
Жидкостные термометры	ВМС	1 раз в четыре года
Логометры, милливольтметры	"	1 раз в один или в два года
Прочие температурные приборы	"	1 раз в два года

20. Допустимые натяжения провода при намотке рамок

Номинальный диаметр, мм	Натяжение, Н	Номинальный диаметр, мм	Натяжение, Н	Номинальный диаметр, мм	Натяжение, Н	Номинальный диаметр, мм	Натяжение, Н
0,02	0,035	0,10	0,85	0,17	2,45	0,24	4,90
0,03	0,075	0,11	1,00	0,18	2,75	0,25	5,30
0,04	0,135	0,12	1,20	0,19	3,05	0,26	5,75
0,05	0,21	0,13	1,40	0,20	3,40	0,27	6,20
0,06	0,30	0,14	1,65	0,21	3,75	0,28	6,60
0,07	0,42	0,15	1,90	0,22	4,10	0,29	7,10
0,08	0,54	0,16	2,20	0,23	4,50	0,30	7,60
0,09	0,69						

21. Значение выходного сигнала преобразователей системы ГСП при нулевом (начальном) значении измеряемого давления

Преобразователь	Значение выходного сигнала	
	кПа (кгс/см²)	кПа (мм рт. ст.)
Манометр, напоромер, тягомер	20 (0,2)	19,6 (147,6)
Тягонапоромер	60 (0,6)	58,9 (442,9)
Мановакуумметр с верхним пределом измерений, кПа (кгс/см²) 60(0,6)	70 (0,700)	68,7 (516,7)
150 (1,5)	52 (0,520)	50,9 (383,0)
300 (3,0)	40 (0,400)	39,3 (295,2)
500 (5)	33,3 (0,333)	32,7 (245,8)
900 (9)	28 (0,280)	27,5 (206,7)
1500 (15)	25 (0,250)	24,5 (184,5)
2400 (24)	23,2 (0,232)	22,8 (171,3)

**22. Таблица для поверки (тарировки) расходомеров
по контрольному U-образному манометру**

Расход, %	Перепад давления расходомера, кПа				Расход, %	Перепад давления расходомера, кПа			
	6,174	9,8	15,6	24,5		6,174	9,8	15,6	24,5
0	0	0	0	0	70	3,03	4,81	7,69	12,03
30	0,57	0,884	1,41	2,21	80	3,96	6,28	10,05	15,71
40	0,99	1,57	2,51	3,93	90	5,01	7,95	12,77	19,88
50	1,55	2,46	3,93	6,14	100	6,19	9,82	15,71	24,55
60	2,23	3,54	5,65	8,84					

**23. Карта напряжений приемника газоанализатора типа МН
(см. рис.136)**

Наименование клеммника	Номера клемм, на которых производится измерение	Значение напряжения	Примечание
Клеммник К1	1—2 1—3 4—5 6—7; 8—9	(40±10) мВ (80±20) мВ (40±10) мВ (11±2) В	
Клеммник Ш1	1—2 2—3 2—3 1—3	(40±10) мВ (40±10) мВ 0 0	На азоте На 10%O ₂
Клеммник Ш2	1—3	(40±10) мВ	На азоте
Колодка трансформатора Тр	1—2 6—9 11—14 12—16	(127±2) В (127±2) В (24±1) В (24±1) В	На 10%O ₂

24. Режимы работы схемы газоанализатора СВК-3М

Обозначение элементов по схеме	Напряжение эмиттер — коллектор, В	Напряжение коллектор — база, В	Обозначение элементов по схеме	Напряжение, В
Транзисторы			Конденсаторы	
T ₁	0,044±0,005	0,06±0,005	C ₁	48±1
T ₂	0,044±0,005	0,06±0,005	C ₃	0,2±0,05
T ₃	12±1,5	12±0,5	C ₄	11±0,5
T ₄	21±1	22±0,5	C ₅ , C ₂	27±1
T ₅	0,35±0,05	0,25±0,05	C ₆	19±0,5
T ₆	22±0,5	21±0,5	C ₇	23±1
Релейный усилитель			C ₈	5±0,5
T ₇	0,04±0,005	0,6±0,05	C ₉	24±0,5
T ₈	23±1	23±1	C ₁₀	14±0,5

25. Типы и модели датчиков давления системы ГСП

Наименование прибора	С пневматическим сигналом		С электрическим сигналом		Пределы измерения, кПа
	тип	модель	тип	модель	
Сильфонный напоромер	НС-П1 НС-П2 НС-П3	9174 9175 9176	НС-Э1 НС-Э2 НС-Э3	9574 9575 9576	0—2,5 0—10 0—40
Сильфонный тягомер	ТС-П1 ТС-П2 ТС-П3	9171 9172 9173	ТС-Э1 ТС-Э2 ТС-Э3	9571 9572 9573	(—2,5)—0 (—10)—0 (—40)—0
Сильфонный манометр	МС-П1 МС-П2	9121 9124	МС-Э1 МС-Э2	9521 9524	0—4 0—25
Сильфонный тягонапоромер	ТНС-П1 ТНС-П2 ТНС-П3	9174 9175 9176	ТНС-Э1 ТНС-Э2 ТНС-Э3	9574 9575 9576	(—1,25)—0—(+1,25) (—5)—0—(+5) (—20)—0—(+20)
Пружинный манометр	МП-П2 МП-П3 МП-П4	9112 9113 9114	МП-Э2 МП-Э3 МП-Э4	9512 9513 9514	0—1 0—4 0—10

26. Марки эпоксидных компаундов

Марка	Способы защиты
ЭПК-1	Пропитка
ЭЗК-6	Заливка
ЭЗК-7	Заливка, обволакивание
ЭЗК-9	Заливка после пропитки
ЭЗК-10	Заливка, обволакивание, опрессовка

27. Необходимая толщина заливки компаундом

Объем изделия, см ³	Толщина, мм	
	стенки	крышки
5—10	2—3	3—4
10—100	5—8	6—10
100—200	6—10	12—15
>200	10—20% от объема	

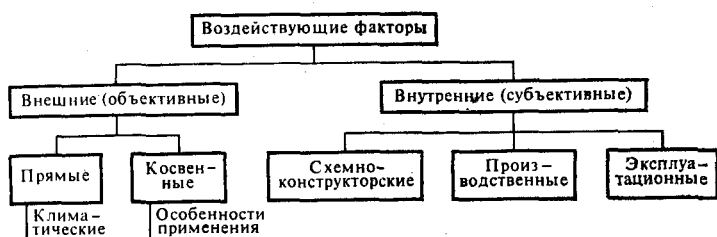
28. Твердые припои

Марка	Компоненты, %					θ _{пл} , °С	Материал пайки
	Cu	Zn	Ag	Si	Al		
ПМЦ-36	34—38	66—62	—	—	—	800—850	Латунь с Cu < 68%
ПМЦ-48	46—50	54—50	—	—	—	840—880	Латунь с Cu > 68%
ПСР-45	30	25	45	—	—	700—750	Латунь с Cu > 68% (для высокой чистоты пайки)
ПСР-72	28	72	—	—	—	750—800	Электропроводники
АЛ-2	—	—	—	10—13	90—87	560—590	Al

29. Мягкие припои

Марка	Компоненты, %						$\theta_{пл}, ^\circ\text{C}$	Материал пайки
	Sn	Pb	Bi	Cd	Sb	Zn		
ПОС-18	18	80	0,1	—	1,9	—	270—310	Fe, Cu, Al
ПОС-40	40	58	0,1	—	1,9	—	230—270	ПСУ и СА, РЭА
ПОС-90	90	9,8	0,1	—	0,1	—	200—240	Посуда пищевая и хозяйственная
АВИА-1	55	—	—	20	—	25	200—240	Al
АВИА-2	80—90	—	—	—	—	10—20	230—250	Al (ультразвуковым паяльником)
Третник	62	38	—	—	—	—	160—180	Легкоплавкие металлы
ПОСК-50	50	32	—	18	—	—	140—160	и сплавы
ПОСВ-33	33,4	33,3	33,3	—	—	—	110—130	
ПОСК-13	13	27	50	10	—	—	60—80	

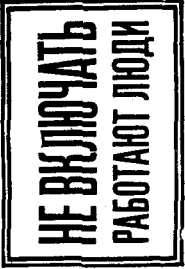
30. Факторы, влияющие на надежность приборов



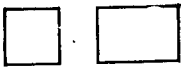
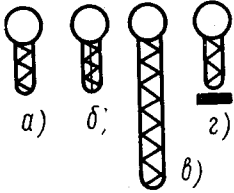
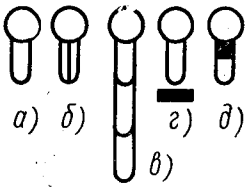
31. Виды испытаний приборов



32. Предупредительные плакаты для электроустановок

Предостерегающие	Запрещающие	Разрешающие	Напоминающие
			
			
			

33. Условные обозначения приборов и элементов автоматики

Изображение	Наименование
	Прибор измерительный
	Прибор регулирующий (сигнализирующий)
	Прибор измерительный и регулирующий (сигнализирующий) в одном корпусе
	Электрическая передача
	Пневматическая передача
	Механическая передача
	Термометр расширения стеклянный (а), то же, электроконтактный (б)
	Термометр сопротивления одинарный (а), двойной (б), многозонный (в), поверхностный (г)
	Термопара: одинарная (а), двойная (б), многозонная (в), поверхностная (г), скоростная (д)

Изображение	Наименование
	Термобаллон манометрического термометра
	Термометр дилатометрический или биметаллический
	Расходомер постоянного перепада
	Сужающее устройство для измерения расхода по перепаду давления (острие против потока)
	Приемное устройство радиоактивное (расходомера, уровнемера и др.)
	Приемное устройство ультракоротковолновое (уровнемера и др.)
	Приемное устройство емкостное (уровнемера, толщиномера и др.)
	Приемное устройство динамометрическое (тензометрическое, пьезометрическое и др.)
	Приемное устройство влагомера

Изображение	Наименование
	Клапан регулирующий проходной
	Клапан регулирующий трехходовой
	Вентиль запорный прямой (клапан запорный)
	Задвижка
	Клапан питательный (обратный клапан)
	Клапан редукционный
	Заслонка регулирующая
	Исполнительный механизм электромагнитный (соленоидный)
	Исполнительный механизм мембранный

ЛИТЕРАТУРА

- Адабашьян А. К. и др. Монтаж приборов и средств автоматизации. М., 1976.
- Апенко М. И., Араев И. П. Оптические приборы в машиностроении. М., 1974.
- Ваня Я. Анализаторы газов и жидкостей. М., 1976.
- Автоматические приборы, регуляторы и управляющие машины/Под ред. Кошарского Б. Д. М., 1976.
- Куропаткин П. В. Теория автоматического управления. М., 1975.
- Орлов С. Л. Весы и дозаторы. М., 1972.
- Стрыгин В. В. Автоматика и вычислительная техника. М., 1975.
- Шкабардня М. С. Новые электронизмерительные приборы. М., 1974.
- Шляндин В. М. Цифровые измерительные преобразователи и приборы. М., 1973.
- Электрические измерения/Под ред. Шрамкова Е. Г. М., 1978.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава I. Весовые устройства и дозаторы	5
§ 1. Классификация, назначение весов и дозаторов	5
§ 2. Классификация гирь	7
§ 3. Устройство платформенных весов	9
§ 4. Устройство автомобильных и элеваторных весов	11
§ 5. Автоматические весы и дозаторы	13
Глава II. Оптико-механические приборы	16
§ 1. Классификация и основные свойства приборов	16
§ 2. Бинокли, зрительные трубы и дальномеры	18
§ 3. Фотоаппараты и проекционные приборы	21
§ 4. Микроскопы и электронно-оптические приборы	28
Глава III. Электроизмерительные приборы	34
§ 1. Понятие о погрешностях и классах точности	34
§ 2. Классификация приборов	36
§ 3. Приборы для измерения тока и напряжения	37
§ 4. Приборы для измерения сопротивления и емкости	43
§ 5. Комбинированные приборы	45
Глава IV. Приборы для измерения температуры	48
§ 1. Температура. Единицы измерения температуры	48
§ 2. Термометры расширения. Манометрические термометры	48
§ 3. Назначение, устройство термоэлектрических термометров и термометров сопротивления	52
§ 4. Вторичные приборы для измерения температуры	56
§ 5. Пирометры	69
§ 6. Преобразователи температуры	72
§ 7. Вспомогательные элементы	73
§ 8. Технологические сигнализаторы температуры	75
Глава V. Приборы для измерения давления и разрежения	81
§ 1. Понятие о давлении и разрежении	81
§ 2. Жидкостные и мембранные приборы	82
§ 3. Пружинные манометры	85
§ 4. Самопишущие манометры	89
§ 5. Преобразователи давления и разрежения	90
§ 6. Электрические вакуумметры	98
§ 7. Сигнализаторы давления	101
Глава VI. Приборы для измерения расхода	103
§ 1. Единицы измерения расхода. Классификация приборов	103
§ 2. Тахометрические приборы	104
§ 3. Приборы постоянного перепада	107
§ 4. Приборы переменного перепада	108
§ 5. Дифференциальные расходомеры	110
§ 6. Индукционные и ультразвуковые расходомеры	120
§ 7. Новые методы измерения расхода жидкостей и газов	122

§ 8. Вторичные приборы для измерения расхода	123.
§ 9. Сигнализаторы потока и протока	129
Глава VII. Приборы для измерения уровня	130
§ 1. Основные понятия	130
§ 2. Поплавковые и буйковые приборы	131
§ 3. Емкостные уровнемеры	136
§ 4. Дифференциальные и пьезометрические приборы	140
§ 5. Радиоизотопные приборы	142
Глава VIII. Автоматические анализаторы газов и жидкостей	144
§ 1. Основные понятия	144
§ 2. Единицы измерения концентрации	145
§ 3. Термомагнитные газоанализаторы	146
§ 4. Термокондуктометрические газоанализаторы	149
§ 5. Приборы для определения загазованности производственных помещений	151
§ 6. Деполяризационные и термохимические газоанализаторы	157
§ 7. Оптико-акустические приборы	160
§ 8. Измерители влажности и запыленности	162
§ 9. Концентраторы	167
§ 10. Вспомогательные устройства газоанализаторов	169
Глава IX. Автоматические регуляторы	172
§ 1. Основные понятия и определения	172
§ 2. Типовые звенья системы автоматического регулирования	176
§ 3. Законы регулирования	178
§ 4. Пневматические регуляторы	180
§ 5. Электронные регуляторы	190
§ 6. Электронно-гидравлические регуляторы	194
§ 7. Машины централизованного контроля и регулирования	195
Глава X. Исполнительные механизмы автоматических систем	199
§ 1. Общая характеристика исполнительных механизмов	199
§ 2. Пневматические механизмы	200
§ 3. Электрические исполнительные механизмы	203
§ 4. Электромеханические реле	206
§ 5. Логические элементы	210
Глава XI. Ремонт приборов и элементов автоматики	215
§ 1. Структура участка ремонта КИПиА	215
§ 2. Ремонт автоматических весов и дозаторов	216
§ 3. Ремонт оптико-механических приборов	219
§ 4. Ремонт электроизмерительных приборов	224
§ 5. Ремонт приборов для измерения температуры	230
§ 6. Ремонт приборов для измерения давления	237
§ 7. Ремонт приборов для измерения уровня	247
§ 8. Ремонт приборов для измерения расхода	249
§ 9. Ремонт анализаторов газов и жидкостей	254
§ 10. Ремонт элементов автоматики	263
§ 11. Ремонт автоматических регуляторов	266
§ 12. Ремонт исполнительных механизмов	272
Глава XII. Износ, технический контроль и надежность приборов	274
§ 1. Износ и смазка	274
§ 2. Тепловой режим работы приборов	275
§ 3. Сухое и жидкостное трение	276
§ 4. Герметизация приборов	277
§ 5. Виды износа приборов	278
§ 6. Понятие о надежности	278
§ 7. Виды и причины отказов приборов	280
§ 8. Методы контроля качества приборов	282

Глава XIII. Безопасность труда	284
§ 1. Техника безопасности в цехах и на территории предприятия	284
§ 2. Классификация взрывобезопасности помещений и приборов	285
§ 3. Поражающие факторы электрического тока. Классификация электроустановок и помещений	286
§ 4. Подготовка персонала к работе в электроустановках до 1000 В	287
§ 5. Организационные и технические мероприятия при производстве работ в электроустановках	291
§ 6. Техника безопасности при работе с переносным электроинструментом	292
§ 7. Защитные средства. Сроки испытания и правила пользования	294
§ 8. Первая помощь при поражении электрическим током	296
Приложения	309
Литература	309

БОРИС ИСААКОВИЧ ЖАРКОЕСКИЙ
**ПРИБОРЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ
И РЕГУЛИРОВАНИЯ**
(устройство и ремонт)

Редактор В. А. Козлов
Художник В. М. Боровков
Художественный редактор В. П. Спирова
Технический редактор Т. А. Новикова
Корректор Г. А. Чечеткина

ИБ № 3546

Изд. № М-188 Сдано в набор 02.06.83. Подписано в печать 01.12.83. Т-20085.
Формат 60 × 90¹/₁₆. Бум. тип. № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая
Объем 19,5 усл. печ. л. 19,75 усл. кр.-отт. 22,41 уч.-изд. л. Тираж 22000 экз. Зак. № 3202. Цена 70 коп.

Издательство «Высшая школа», 101430, Москва, ГСП-4, Неглинная ул., д. 29/14.

Ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени Первая Образцовая типография имени А. А. Жданова Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. Москва, М-54, Валовая, 28