

Б. И. ЖАРКОВСКИЙ

ПРИБОРЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ (УСТРОЙСТВО И РЕМОНТ)

ИЗДАНИЕ ТРЕТЬЕ,
ПЕРЕРАБОТАННОЕ
И ДОПОЛНЕННОЕ

Допущено
Государственным комитетом СССР
по народному образованию
в качестве учебника
для профессионально-
технических училищ

5/н



МОСКВА «ВЫСШАЯ ШКОЛА» 1989

ББК 34.9
Ж 35
УДК 681.2

Рецензент — инж. А. Г. Мордовский

Жарковский Б. И.

Ж 35 Приборы автоматического контроля и регулирования (устройство и ремонт): Учеб. для ПТУ. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 1989. — 336 с.: ил.

ISBN 5-06-000315-9

Рассмотрены принципы действия средств контроля и автоматического регулирования, приведены их классификация и назначение; даны основные понятия об автоматическом регулировании и законах регулирования; изложены сведения о метрологии, надежности автоматических приборов и систем, а также вопросы безопасности труда; приведены основные способы ремонта приборов и регуляторов.

Третье издание (2-е — в 1983 г.) дополнено сведениями о новых средствах контроля и автоматического регулирования. Учебник может быть использован при профессиональном обучении рабочих на производстве.

Ж $\frac{2403000000(4307000000)-159}{052(01)-89}$ 64-89

ББК 34.9
БП5.8

ISBN 5-06-000315-9

© Издательство «Высшая школа», 1978
© Издательство «Высшая школа», 1989,
с изменениями

ПРЕДИСЛОВИЕ

В Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года отмечается, что главная задача двенадцатой пятилетки состоит в повышении темпов и эффективности развития экономики на базе ускорения научно-технического прогресса, технического перевооружения и реконструкции производства, интенсивного использования созданного производственного потенциала. Общее совершенствование народного хозяйства страны в условиях кардинального ускорения научно-технического производства тесно связано с задачами, поставленными Основными направлениями реформы общеобразовательной и профессиональной школы по повышению качества и уровня профессиональной подготовки квалифицированных рабочих.

Учитывая важность совершенствования профессиональной подготовки молодых специалистов, Основными направлениями реформы общеобразовательной и профессиональной школы определены цели и задачи, показаны пути перестройки и повышения качества подготовки рабочих высокой квалификации и широкого профиля. В период теоретического и производственного обучения учащиеся должны постоянно совершенствовать знания и профессиональное мастерство, работать с техническим текстом, схемами, таблицами, справочным материалом, решать технические задачи и отвечать на вопросы для проверки.

В третье издание учебника внесены ряд изменений: каждая глава методически завершается основными выводами; сформулированы вопросы для проверки; даны задачи и приведено их решение; изложены рекомендации учащимся по закреплению знаний на определенных этапах обучения; внесены добавления и изменения, связанные с совершенствованием средств КИПиА; приведены сведения о цифровых измерительных приборах, промышленных роботах и манипуляторах, переработана глава по охране труда.

Автор

ВВЕДЕНИЕ

Машиностроению принадлежит ведущая роль в техническом вооружении народного хозяйства, так как на базе его развиваются все отрасли промышленности, 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 настоящее время отечественная промышленность оснащена современными средствами контроля, регулирования и сигнализации.

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 габаритных размеров 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 имеют мероприятия Государственного комитета СССР по стандартам, которые позволили

разработать и освоить серийный выпуск приборов Государственной системы приборов — ГСП.

Приборы, выпускаемые отечественной промышленностью, применяются 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.

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

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.

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.

§ 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 грузоподъемного 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 так: 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 гирь буквы обозначают единицу измерений; кг — килограмм, г — грамм, мг — миллиграмм; первое число после букв — класс гирь, второе — масса гирь.

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

Образцовые гири служат для поверок гирь 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 гирь не должно превышать действующих установленных норм.

Условные гири (рис. 1, а) используют для платформенных передвижных рычажных гиревых весов общего назначения с



Рис. 1. Гири:
а — условные гири, б — гири-рейтеры

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 чугуниную 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.

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

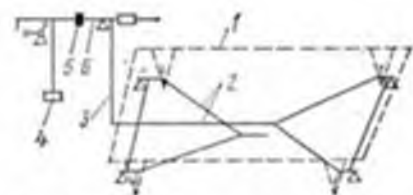


Рис. 2. Устройство платформенных весов

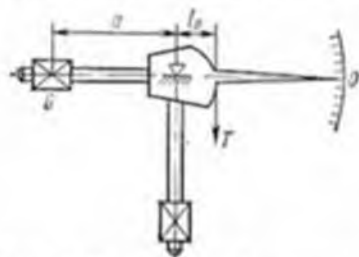


Рис. 3. Циферблатный указатель

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 отчета и снятия показаний весы имеют: визуальный отчет, документальную регистрацию, местное снятие показаний, дистанционное снятие показаний. Например, рычажные стационарные, платформенные, циферблатные весы с циферблатным указателем с визуальным отчетом 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 уравнивающее 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.

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 5. Промежуточный механизм передает воспринимаемое

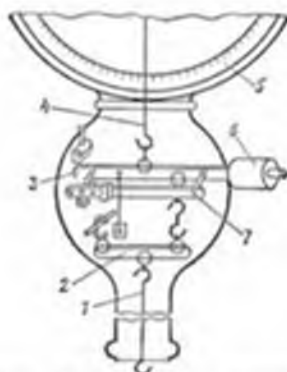


Рис. 4. Устройство промежуточного механизма

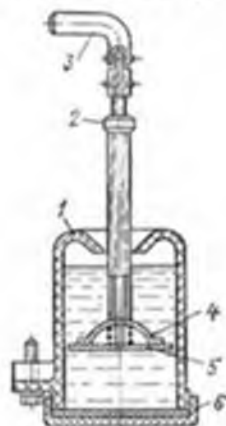


Рис. 5. Успокоитель колебаний

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 6. В цилиндре ходит поршень 5, 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 4 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; он 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 гириями и дистанционной регистрацией результатов 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.

Циферблатные автомобильные платформенные весы типа РС изготавливают с наибольшими пределами взвешивания 10, 30 и 60 т. Весы предназначены для взвешивания различных грузов, перево-

ных автомашинами, безрельсовым транспортом, а также для взвешивания крупногабаритных или тяжелых грузов. Они нашли широкое применение на промышленных предприятиях, транспорте и т. д.

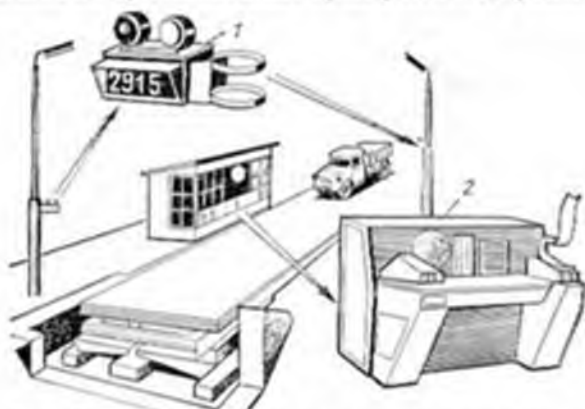


Рис. 6. Автомобильные весы с регистрирующим устройством:

1 — цифровое табло, 2 — диспетчерский пульт

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 гирь 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-ЩЗ 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 изготавливают следующих классов: 0,5; 1; 1,5; 2,5; 4.

Автоматический дозатор типа ЛДВ (рис. 7) работает следующим образом: на конвейерной ленте 14 через весовой ролик 9 и систему рычагов установлен датчик веса 8, который изменяет положение заслонки 10 при изменении массы материала на конвейерной ленте.

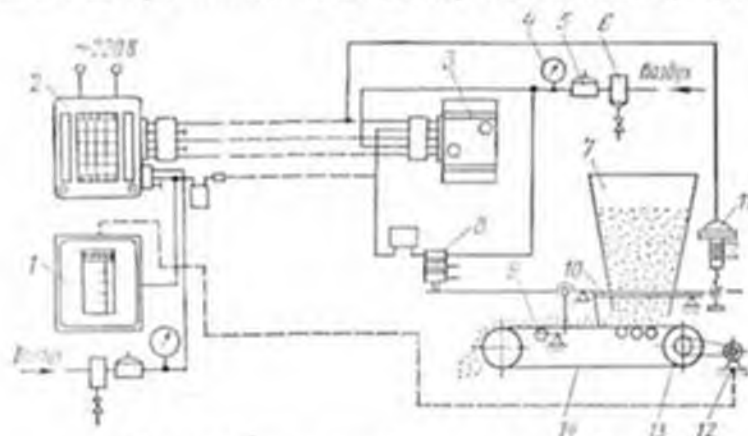


Рис. 7. Автоматический дозатор типа ЛДВ:

1 — регистрирующий прибор, 2 — пневматический прибор с задатчиком, 3 — регулятор, 4 — манометр, 5 — редуктор, 6 — фильтр, 7 — бункер, 8 — датчик веса, 9 — весовой ролик, 10 — заслонка, 11 — мембранный механизм, 12 — электродвигатель, 13 — барабан, 14 — конвейерная лента

Управление заслонкой пневматическое (воздушное). Датчик веса преобразует действующую на него силу в пневматический сигнал, строго пропорциональный массе материала. Пневматический сигнал поступает на пневматический регулятор 3. Регулятор формирует выходной пневматический сигнал, поступающий на мембранный механизм 11, который открывает или закрывает управляющую заслонку 10 бункера 7.

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 конвейера 2, который приводится в движение электродвигателем 11 с редуктором.

Необходимая производительность дозатора устанавливается по вторичному прибору 6, который имеет встроенный задатчик. Подача материала на конвейер 2 осуществляется с помощью питателя 12.

Рычажная система 8 передает нагрузку конвейера (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 конвейера, при этом включается регулятор напряжения 9, который изме-

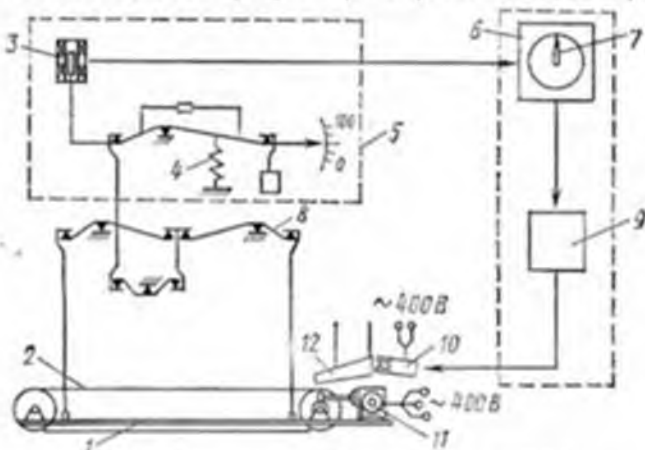


Рис. 8. Автоматический дозатор типа ЛДА:

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

няет 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.

Основные выводы

1. При лабораторных анализах по проверке качества выпускаемой продукции большое значение имеет взвешивание составных компонентов; при этом необходимо использовать заданный класс весов и гири-рейтеров.

2. Неотъемлемой частью технологического процесса составления компонентов сыпучих и жидких сред является автоматическое взвешивание на дозаторах. Класс точности дозаторов и наличие автоматического контроля и вывода информации зависит от условий технологического процесса.

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?

ГЛАВА II

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 зрачка; поле зрения.

Оптические свойства фото- и кинопроекционной аппаратуры определяют данными объективов: фокусным расстоянием объектива;



Рис. 9. Типы линз

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, двояковогнутая отрицательная 2, плосковыпуклая положительная 3, плосковогнутая 4, положительный мениск 5, отрицательный мениск 6 (рис. 9, а).

У положительных линз оптическая сила больше нуля, у отрицательных — меньше нуля. Положительные собирающие линзы

обычно имеют наибольшую толщину в центре (1, 2, 3), отрицательные, наоборот, меньшую толщину в центре (4, 5, 6; рис. 9, б).

П р и з м ы (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

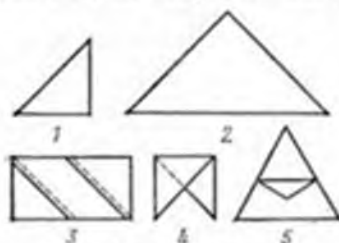


Рис. 10. Типы призм:

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



Рис. 11. Типы оптических клиньев

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 съемки 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.

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.

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

В Международной системе единиц (СИ) единицей силы света является к а н д е л а. Обозначение — кд, ранее применялось наименование «свеча» с обозначением св. $1 \text{ св} = 1 \text{ кд}$.

Единицей светового потока является л ю м е н. 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, равной 1 лм . $1 \text{ лк} = 1 \text{ лм} : 1 \text{ м}^2$.

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

§ 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

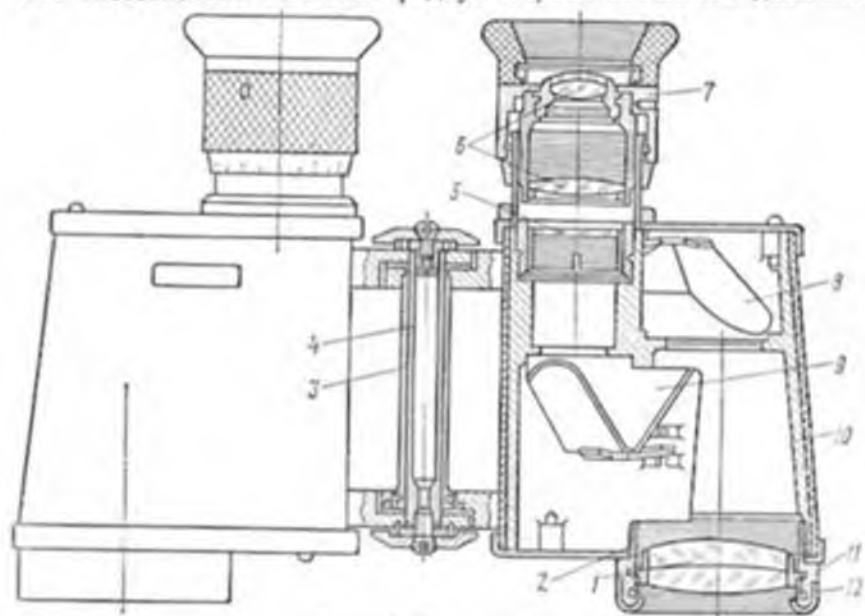


Рис. 12. Бинокль Б-6

человеческих глаз. Невооруженным глазом человек видит местность на расстоянии до $1300\text{--}1400 \text{ м}$, а с помощью различных типов биноклей можно наблюдать местность на расстоянии до нескольких километров.

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 пужного 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: $\Delta = f_{\infty}^2 \alpha$, где f_{∞} — фокусное расстояние объектива бинокля; α — цена деления сетки в тысячных.

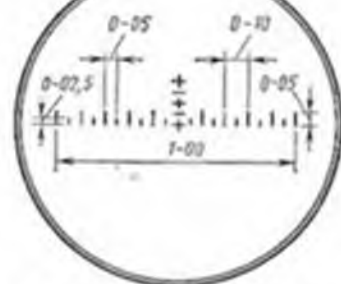


Рис. 13. Угломерная сетка бинокля

Все типы призматических биноклей имеют увеличение 6^{*}, 8^{*}, 15^{*}. Окуляры для коррекции дальновидности или близорукости глаза имеют диоптрийную наводку ± 5 диоптрий.

Все типы биноклей конструктивно оформлены однотипно: каждая трубка бинокля имеет алюминиевый 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^{*}—60^{*} 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. Фокусировка происходит перемещением окуляра с сеткой относительно объективной части трубы (неподвижной). Окуляр перемещается реечным механизмом при вращении трибки. Конструкция оптической системы (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; большая герметичность трубы; малые колебания визирной оси при фокусировке.

Во избежание деформации линз оправу зрительных труб изготовляют 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.

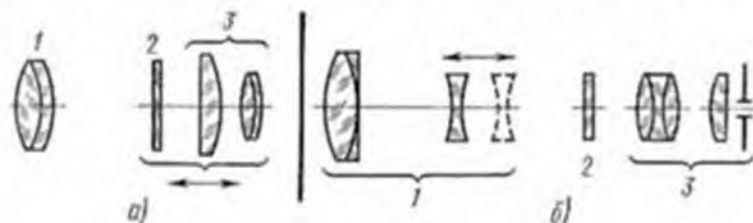


Рис. 14. Типы зрительных труб:

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

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.

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



Рис. 15. Штриховая дистанционная шкала

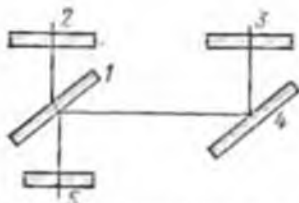


Рис. 16. Устройство дальномера фотоаппарата

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.

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

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

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

* Таблицы даны в приложении в конце книги.

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.

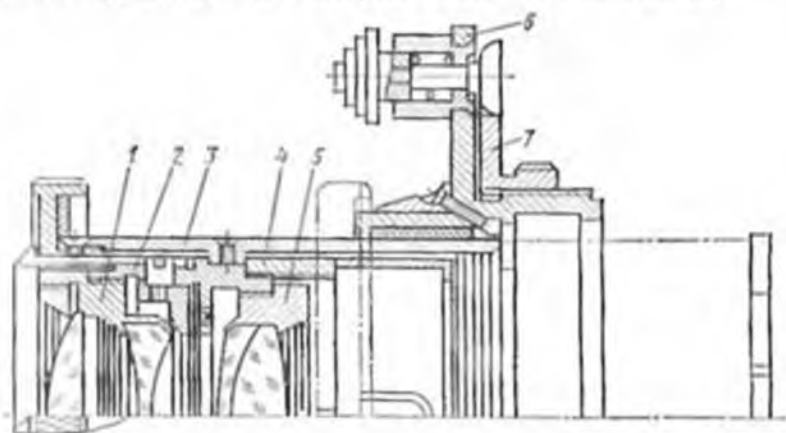


Рис. 17. Объектив «Индустар-22»

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 абберации.

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

Объективы подразделяют на две группы: астигматы и анастигматы.

Астигматы и называют объективы с недостаточным исправлением аббераций. Такие объективы применяют в фотоаппаратах простых конструкций.

Анастигматы и называют объективы, в которых абберации в значительной степени исправлены. Такие объективы применяют в большинстве современных фотоаппаратов.

Большое применение имеет объектив-анастигмат, состоящий

из трех компонентов. Такие объективы носят название **т р и п л е т** 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 передвижной 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.

«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 устанавливаются 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

главно 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.

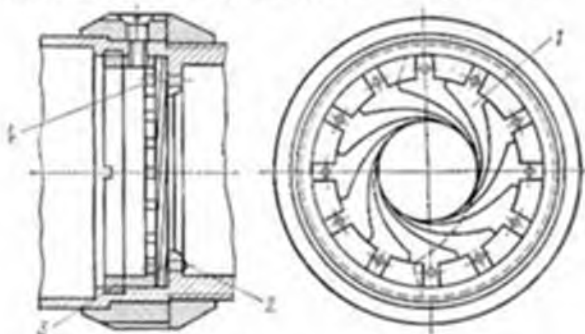


Рис. 18. Ирисовая диафрагма

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

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 установ-

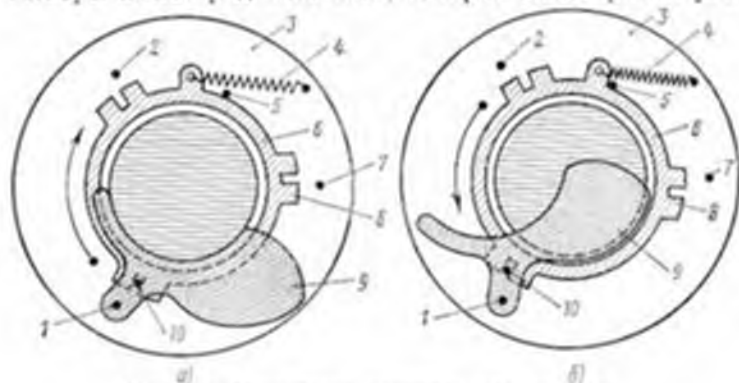


Рис. 19. Устройство центрального затвора:
а — затвор открыт, б — затвор закрыт

лены относительно светового отверстия. В исходном положении лепестки закрывают световое отверстие затвора. На плате 3 на валах 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 затворах открытие и закрытие светового отверстия происходит с помощью щелевой заслонки, которая состоит из двух шторок.

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.

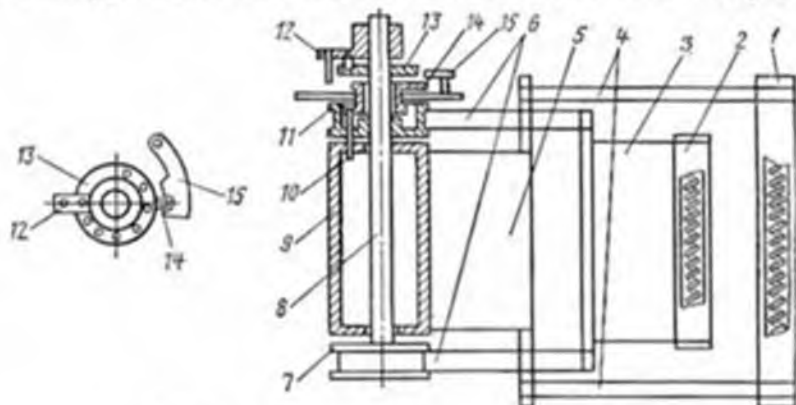


Рис. 20. Устройство шторно-щелевого затвора

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 шторки 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 шторки, 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.

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 входит стрелка экспонометра, шкалы диафрагмы 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 и другие лампы с угольными электродами.

Лампы накаливания в силу ограниченности светового потока применяют преимущественно в любительских и передвижных 16-мм 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 из кадровое окно наибольшей части светового потока источника света. Существуют три

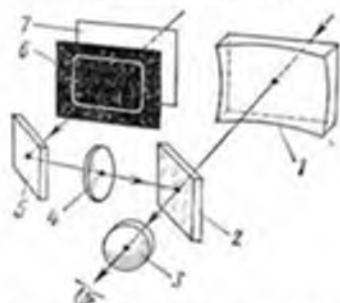


Рис. 21. Устройство видоискателя:

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

тина 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 габаритных размерах она позволяет получать хорошее использование светового потока источника света.

Стационарный кинопроектор КИТ-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 двери 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.

На полом барабане 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 — вторично увеличенное минимальное изображение. В результате микроскоп дает возможность рассматривать изображение под большим углом, но изображение становится перевернутым. *Общее увеличение микроскопа равно произведению увеличений объектива и окуляра: $U = U_1 U_2$, где U_1 — увеличение объектива; U_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.

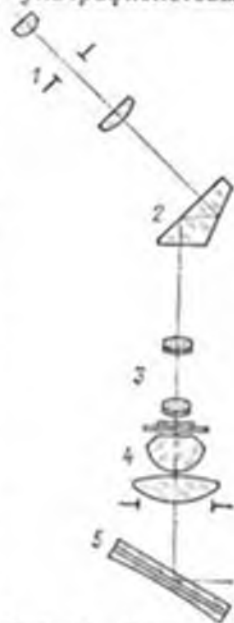


Рис. 23. Оптическая система микроскопа УИМ:

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

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

При конструировании объективов больших увеличений учитывается рассмотренное ранее явление абберации. Объективы на малое и среднее увеличение часто выполняют из одного компонента, склеенного из двух линз. В них хорошо исправляется малая абберация. Объективы с увеличением от 5 до 10^{*} обычно состоят из двух двойных склеенных линз, расположенных одна от другой на определенном расстоянии.

Объективы с увеличением от 40^{*} и выше имеют сложную конструкцию для коррекции абберации. 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 — плапохромат; ОМХ — монохромат; ОК — кварцфлюоритовый; ОР — зеркальный или зеркально-линзовый; ОЭ — эпнообъектив. 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 абберации 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 устанавливают 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 конденсора и в плоскость, сопряженную с выходным зрчком 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 аберраций 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, присовой диафрагмы 4 и оправы светофильтра 3. Основной характеристикой конденсора является его

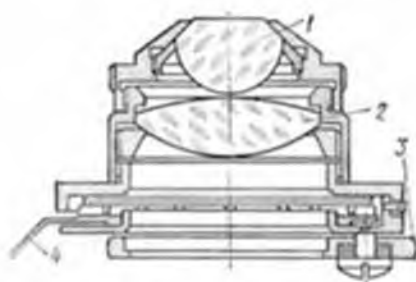


Рис. 24. Конденсор

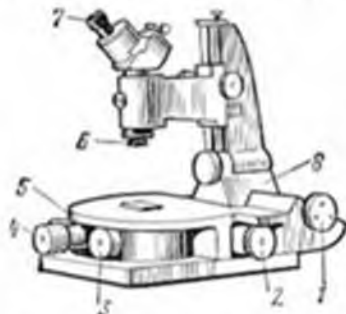


Рис. 25. Универсальный инструментальный микроскоп

фокусное расстояние. В зависимости от конструкции конденсор может иметь от одной до четырех линз. В некоторых типах конденсоров имеется присовая диафрагма для регулирования освещенности.

Большой инструментальный микроскоп типа УИМ (рис. 25) используется для измерений линейных размеров и диаметров валов; углов изделий и предметов; резцов, фрез, кулачков и другого инструмента; шаблонов любой формы и конфигурации; резьбы метчиков, резьбовых калибров, конусов калибров, расстояний между цент-

рами отверстий. Измерения можно выполнять в прямоугольных и полярных координатах.

Основанием микроскопа является станина 8, на которой установлен предметный столик 5. С помощью маховика 3 предметный столик может вращаться. Вращением микроинтента 2 предметный столик осуществляет продольное перемещение, а микроинтента 4 — поперечное перемещение. Маховик 1 служит для изменения наклона микроскопа. Сменный объектив 6 установлен в держателе совместно с окуляром 7. Для измерения линейных размеров деталей микроскоп имеет поле зрения отсчетного устройства, представленное на рис. 26.

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



Рис. 26. Вид поля зрения отсчетного микроскопа (отсчет угломерной головки равен $121^{\circ}34'$)

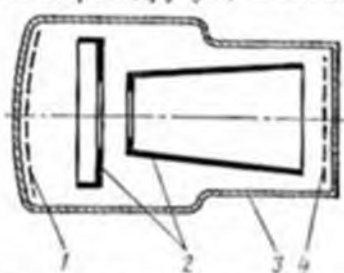


Рис. 27. Устройство электронно-оптического преобразователя:

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

усиления яркости изображения. Такой прибор называется электронно-оптическим преобразователем (ЭОП).

Электронно-оптический преобразователь (рис. 27) представляет собой фотоэлектронный вакуумный прибор. Фотокатод 1 имеет светочувствительный кислородно-цезиевый слой. Под действием падающего на него излучения фотокатод начинает 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 удается 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 и 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, Уд-20М, «Квант-9», «Квант-10», «Квант-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.

Основные выводы

1. Существенным отличительным признаком оптико-механических приборов является наличие оптической системы.
2. Основными элементами оптических систем приборов являются линзы, призмы, оптические клины.
3. Для фокусировки приборов при рассматривании предметов, находящихся на различных расстояниях, применяются фокусирующие устройства.
4. Для характеристики оптической системы используются основные критерии — фокусное расстояние объектива, светосила объектива, освещенность изображения предмета.

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 электронизмерительной техники (СЭТ) 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 тре-

буемых 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 $\Delta U_x = U_{x_0} - U_x$; $\Delta U = 220 - 214 = -6$ В.

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

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

Для нашего примера $\Delta_{отн} = (\Delta U / U_{x_0}) \cdot 100\%$; $\Delta_{отн} = (-6 / 220) \times 100\% = -2,72\%$.

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

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 систематическим 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 ЭТ относится к систематическим погрешностям, она характеризует разницу показаний прибора при повторных измерениях действительного значения постоянной величины при изменении направления измерений: $A = [(x_{пр} - x_{обр}) / (x_{max} - x_{min})] \cdot 100\%$, где A — вариация измерений, $x_{пр}$ — значение измеряемой величины, измеренной прибором в прямом направлении, $x_{обр}$ — значение измеряемой величины, измеренной прибором в обратном направлении.

С л у ч а й н а я погрешность — погрешность измерения, изменяющаяся по неопределенному 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 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 п о к а з ы в а ю щ и х приборах отсчет значения измеряемой величины производится по положению стрелки относительно шкалы прибора.

С а м о п и ш у щ и е 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. 28) 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 подпятниках 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 $M_{вр} = K_1 I$, где $M_{вр}$ — 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.

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 со стрелкой равняется $\alpha = (K_1/K_2) I = K I$.

Из последнего уравнения следует, что угол поворота стрелки магнитоэлектрического прибора прямо пропорционален значению

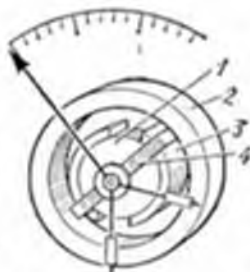


Рис. 28. Прибор магнитоэлектрической системы

тока, проходящего через рамку, а шкала прибора является равномерной.

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

Измерение постоянного тока. Приборы для измерений тока называются а м п е р м е т р а м и. 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. 29) можно записать следующее равенство: $I_a R_a = I_{ш} R_{ш}$, откуда $R_{ш} = I_a R_a / I_{ш}$.

В силу закона Кирхгофа полный ток I в цепи равен $I = I_a + I_{ш}$, тогда, подставляя значение тока I , определим сопротивление

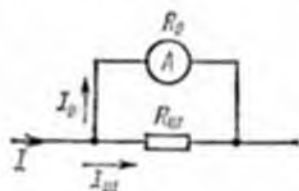


Рис. 29. Схема включения амперметра с шунтом

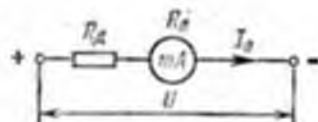


Рис. 30. Электрическая схема вольтметра

шунта $R_{ш} = I_a R_a / (I - I_a)$, где I_a — ток полного отклонения амперметра, R_a — внутреннее сопротивление амперметра, I — измеряемый ток в цепи.

Измерение постоянного напряжения. Прибор для измерения напряжения называется в о л т м е т р о м. Вольтметр для измерения постоянного напряжения состоит из стрелочного прибора магнитоэлектрической системы, последовательно с которым включено добавочное сопротивление (рис. 30).

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

При измерении напряжения вольтметр подключается параллельно измеряемому участку электрической цепи.

Приборы электромагнитной системы широко применяют 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. 31. 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 одноименно 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 индуцируются 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, перехода от верновых опор подвижных частей на крепление с помощью растяжек

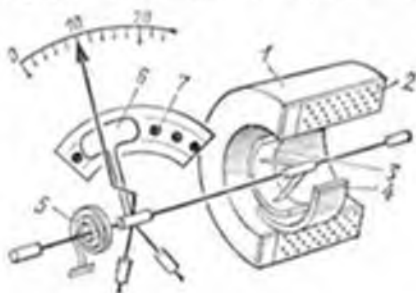


Рис. 31. Измерительный механизм электромагнитной системы

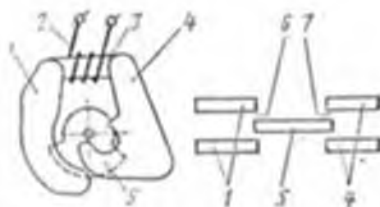


Рис. 32. Конструкция универсального измерительного механизма

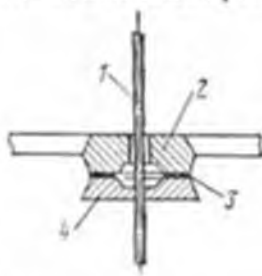


Рис. 33. Конструкция жидкостного успокоителя

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 габаритных размерах.

Конструкция УИМ показана на рис. 32. 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 высушающих кремнийорганических жидкостей позволили внедрить вместо воздушных и индукционных успокоителей новую конструкцию успокоителя для электронизмерительных приборов.

На рис. 33 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



Рис. 34. Узкопрофильный прибор серии АСК:

1 — шкала, 2 — осветитель, 3 — разъем

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. 34) 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 заднего разъема. Для питания электроконтактного устройства прибора используется напряжение постоянного тока значением 12 В.

С техническим прогрессом непрерывно расширяется область применения быстродействующих самопишущих приборов (БСП), применяемых для регистрации быстротекущих 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.

Пробники (прозвонки) используют для проверки целостности участков электрической цепи, определения обрывов и неис-

разности элементов схем (рис. 35). Конструктивно пробник состоит из источника напряжения 1 (гальванический элемент напряжением 1,5—4,5 В), лампочки накаливания 2, щупа 4, вывода с наконечником 3 типа «крокодил». Пробник работает следующим образом: если проверяемый элемент схемы не имеет обрывов (исправный

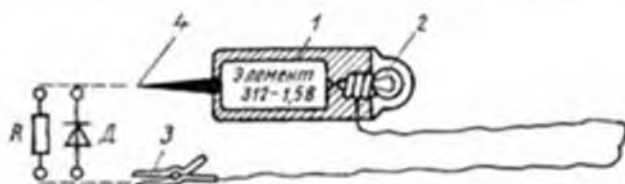


Рис. 35. Электрическая прозвонка

диод, целый предохранитель, неповрежденный проводник), то образуется замкнутая электрическая цепь и загорается лампочка, сигнализирующая, что проверяемая цепь исправна.

Переносной потенциометр типа ПП-63 широко используется при ремонте теплотехнических приборов, регуляторов и различных датчиков. Он позволяет измерять напряжение постоянного тока и электродвижущей силы в диапазоне 0—100 мВ с классом точности 0,05, а также используется как источник регулируемого напряжения в пределах 0—100 мВ.

В настоящее время отечественной промышленностью выпускается универсальный измерительный прибор типа Р4833, предназначенный для измерения сопротивлений, постоянных э. д. с. и напряжений и проверки различных теплотехнических и регистрирующих приборов. Диапазон измерения сопротивлений от 10^{-4} до 10^6 Ом; диапазон измерения ЭДС от 0 до 111,10 мВ.

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.

Электростатическое взаимодействие (отталкивание подвижных пластин от неподвижных) пропорционально произведению их зарядов, в свою очередь величина заряда пропорциональна приложенному напряжению. Отсюда вращающий момент $M_{вз}$ прибора пропорционален квадрату измеряемого напряжения U^2 и зависит от

изменения емкости ΔC при изменении угла поворота измерительного механизма: $M_{\text{вп}} = U^2 (\Delta C / \Delta \alpha)$.

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.

§ 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. 36 показана схема моста постоянного тока. Сопротивления R_1 , R_2 , R_3 и неизвестное (определяемое) сопротивление

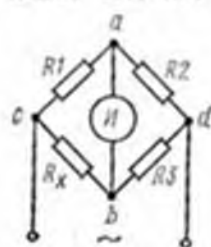


Рис. 36. Схема моста постоянного тока:

G — прибор, R_x — неизвестное сопротивление, R_1 — R_3 — сопротивления моста

R_x составляют плечи моста. В одну из диагоналей ($a-b$) включают магнитоэлектрический измерительный прибор G 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 $R_x = R_1 R_3 / R_2$.

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 .

Магазины сопротивления используют для ремонта и поверки средств измерения и служат для создания в электрических цепях точных значений сопротивлений, не изменяющихся по своей величине под действием проходящих через них токов.

Более простым в эксплуатации прибором является магазин сопротивления рычажный шестидекадный типа Р-33, позволяющий изменять свое сопротивление в пределах 0,1—99999,9 Ом.

Магазин сопротивления (рис. 37) состоит из шести декад, которые образуют последовательную цепь намотанных сопротивлений. Вращением курбелей 2 производится набор требуемого значения сопротивления. Например, для формирования сопротивления, равного 563,6 Ом, необходимо курбель $\times 100$ установить на деление 5; курбель $\times 10$ — на деление 6; курбель $\times 1$ — на деление 3;

курбель $\times 0,1$ — на деление 6. Полученное значение сопротивления 563,6 Ом подключается в требуемую электрическую схему через крайние зажимы прибора: 0 и 99999,9. Зажимы 1 служат для подключения магазина в электрическую цепь. Магазин сопротивления

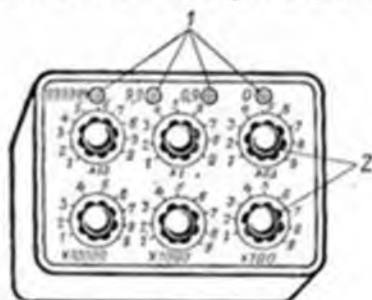
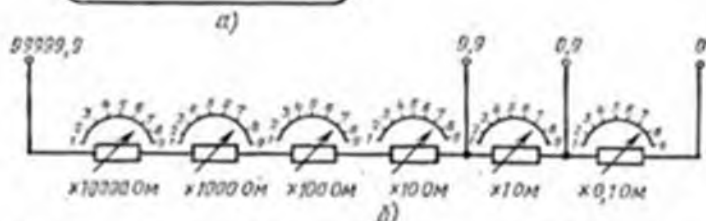


Рис. 37. Магазин сопротивления Р-33:

а — общий вид, б — электрическая схема



типа Р-4831 является прибором повышенного класса точности с пределом изменения сопротивления от 0 до 11111,10 Ом.

Приборы для измерения емкости называют фарадметрами. При необходимости емкость может быть измерена методом вольтметра-амперметра (рис. 38, а), когда последовательно с неиз-

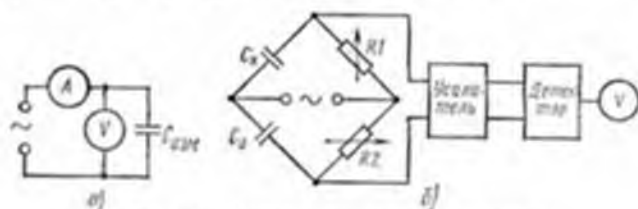


Рис. 38. Методы измерения емкости:

а — вольтметра-амперметра, б — мостовой

вестной 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. 38, 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.

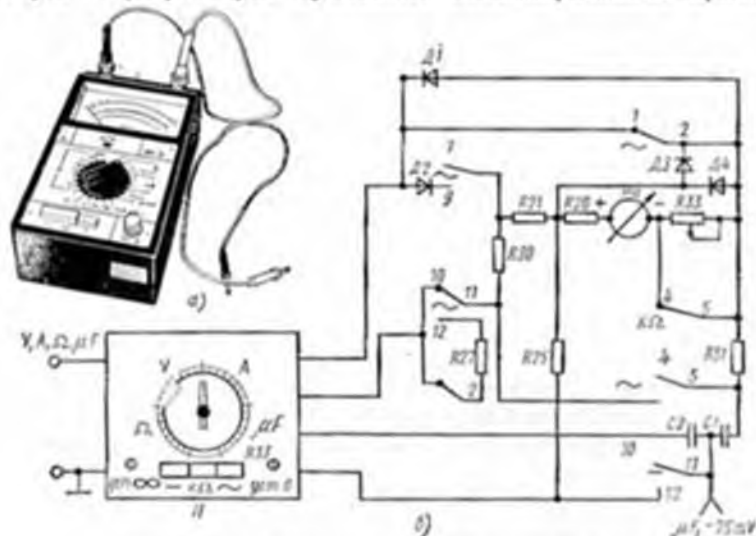
$$C_x = C_0 R_1 / R_2$$

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 ремонта современных автоматических приборов и регуляторов применяют комбинированные приборы.



Для измерения постоянного тока или напряжения требуется установить переключатель P в положение «—», а при измерении переменного тока и напряжения — в положение «~».

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 работ P в положение « $k\Omega$ »; соединить щупы, подключенные к зажимам прибора, между собой и вращением потенциометра $R33$ (ручки установки нуля прибора) установить стрелку измерительного механизма $МН$ на нулевую отметку шкалы « $k\Omega$ »;

после установки «0» щупы требуется разомкнуть, а затем можно измерять неизвестное сопротивление по шкале « $k\Omega$ ».

Для измерений сопротивлений до значения 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 ».

§ 6. Цифровые измерительные приборы

Бурное развитие средств вычислительной техники и счетно-решающих устройств связано с появлением в отечественном приборостроении широкого парка цифровых измерительных приборов (ЦИП) различного применения. Они используются для измерения электрических и механических параметров в научных исследованиях, лабораторных и производственных условиях.

Цифровые измерительные приборы имеют ряд существенных преимуществ перед обычными (аналоговыми) приборами: высокую точность, возможность запоминания, передачи и ввода в электронную вычислительную машину (ЭВМ) результатов измерения. Однако аналоговые приборы имеют низкую стоимость и конструктивно просты. В некоторых случаях цифровая информация обычных аналоговых приборов воспринимается значительно проще, чем информация с цифровой техники (например, для оператора, штурмана авиалайнера).

В связи с этим можно предположить, что в перспективе будет намечаться одновременное развитие как аналоговой, так и цифровой измерительной техники.

Основные принципы построения ЦИП. Непрерывное преобразование измеряемой величины в цифровой код осуществляется с помощью аналогово-цифрового преобразователя.

Для цифровой измерительной системы наибольший интерес представляет двоичная система с основанием $p=2$ в силу того, что для представления цифр используются всего две цифры 0 и 1.

Для запоминания цифр в двоичной системе используются специальные устройства с двумя устойчивыми состояниями — триггеры. Одному из состояний соответствует цифра 1, другому — 0.

Для построения аналогово-цифровых преобразователей (АЦП) используются три метода: времяимпульсный, частотно-импульсный и метод следящего уравнивания.

В цифровых приборах времяимпульсного преобразования измеряемая величина преобразуется в пропорциональный интервал времени, измеряемый путем заполнения его последовательностью импульсов опорной частоты.

При частотно-импульсном преобразовании измеряемая величина пропорциональна частоте последовательности импульсов, определяемой подсчетом числа импульсов за калибровочный интервал времени.

Метод следящего уравнивания (по-разрядного кодирования) заключается в поочередном сравнении

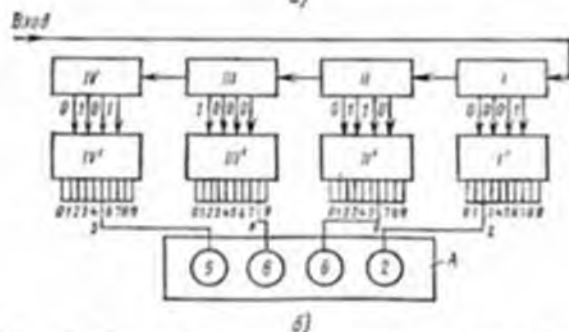
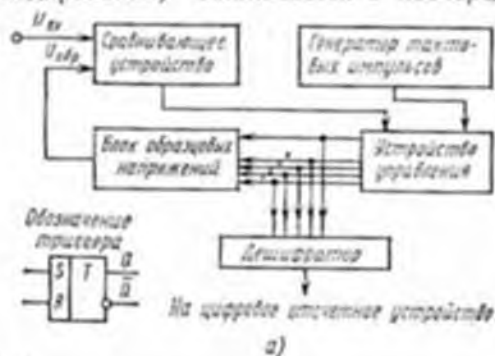


Рис. 40. Схема построения аналогово-цифровых преобразователей (а) и часть структурной схемы ЦИП (б)

измеряемой величины с суммой образцовых дискретных величин, изменяющихся по определенному закону.

АЦП следящего уравнивания работают на интегральных схемах с частотой тактов выше 1 МГц. Структурная схема АЦП представлена на рис. 40, а. На сравнивающем устройстве производится сравнение входного (измеряемого) сигнала с напряжением,

поступающим от блока образцовых напряжений. В задачу блока устройства управления входит переключение блока образцовых напряжений до получения равновесия $U_{\text{вх}} = U_{\text{обр}}$. Непосредственно моменты переключения образцовых напряжений задаются генератором тактовых импульсов.

Устройство управления поочередно по всем разрядам подает сигнал I в соответствующую линию для формирования двоичного кода. Если $U_{\text{обр}} < U_{\text{вх}}$, то состояние I на данной линии сохраняется; при $U_{\text{обр}} > U_{\text{вх}}$ сравнивающее устройство¹ формирует импульс и устройство управления снимает «единичный» сигнал и заменяет его на 0. После окончания цикла сравнения с соединительных линий формируется двоичное число, поступающее в дешифратор, а затем на цифровое отсчетное устройство прибора. При поступлении на соответствующий вывод индикатора сигнала I высвечивается данная цифра.

Дешифраторы собирают на логических элементах, например И-НЕ. Элементы И пропускают сигнал I на вход, когда на всех его четырех входах переменная имеет значение 1.

На рис. 40, б представлена часть структурной схемы цифрового измерительного прибора, имеющая четыре счетные декады ($I-IV$), четыре дешифратора ($I'-IV'$) и цифровые индикаторы A (без управляющего устройства). Дешифратор соединен с соответствующей счетной декадой с помощью четырех сигнальных линий по двоичному коду (комбинации 0 и 1). Дешифраторы с цифровыми индикаторами соединены десятью сигнальными линиями. На рис. 40, б представлены только те линии, по которым передаются управляющие сигналы при воспроизведении десятичного числа.

Основные элементы ЦИП

Счетчики импульсов. Для запоминания импульсов, приходящих с аналогово-цифрового преобразователя в цифровой счетчик, используются двоичные логические элементы — триггеры. Эти элементы имеют два устойчивых состояния, при которых выходное напряжение может иметь высокий уровень, обозначаемый цифрой 1, или низкий уровень, обозначаемый цифрой 0. На рис. 40, а представлено условное обозначение триггера. На триггер поступают два сигнала входа R и S . Кроме основного (прямого) выхода, обозначаемого символом Q , устройство имеет инверсный (обратный) выход с символом $\bar{Q}$, т. е. если на прямом выходе будет единичный символ 1, то на инверсном 0.

При поступлении управляющего сигнала на вход S триггер устанавливается в «единичное» состояние ($Q=1$; $\bar{Q}=0$). Если до прихода сигнала управления триггер уже находился в «единичном» состоянии, то оно меняется на противоположное, т. е. $Q=0$; $\bar{Q}=1$.

Счетчики, входящие в состав цифрового прибора, работают в двоично-десятичной системе счисления. Они носят название «декадных». При последовательном включении первая декада считает единицы импульсов, вторая — десятки, третья — сотни.

Дешифраторы. Дешифратор служит для преобразования двоично-десятичного кода, приходящего со счетных декад, в напряжения, управляющие работой цифрового индикатора. Счетная декада имеет четыре триггера и результат счета выражается четырехзначным двоичным числом. Сам дешифратор имеет 4 входа и 10 выходов. Входы служат для ввода информации в виде четырехзначного двоичного числа, а выходы дешифратора подключаются к цифровому индикатору. Каждый индикатор содержит последовательный набор цифр от 0 до 9, выводы которого соединяются с соответствующим выходом дешифратора (от 1 до 10).

Цифровые индикаторы. В цифровых измерительных приборах используется ряд цифровых индикаторов (рис. 41): газоразрядные, электролюминесцентные, на жидких кристаллах и накаливые.

Газоразрядные индикаторы имеют обозначение ИН (модификации ИН-1, ИН-2, ИН-4, ИН-12, ИН-14). Такая лампа

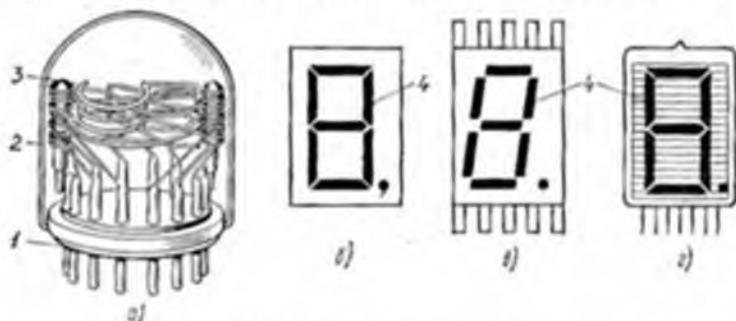


Рис. 41. Общий вид цифровых индикаторов:

а — газоразрядного, б — электролюминесцентного, в — на светозлучающих диодах, г — катодолуминесцентного; 1 — панель, 2 — корпус, 3 — цифровой катод, 4 — сегменты

имеет общий анод и одиннадцать катодов (цифры от 0 до 9 и запятая). По конструкции она представляет стеклянный баллончик, наполненный инертным газом (неоном) с закрепленными проволочными цифрами в виде пакета. Анод (в виде проволочной сетки) охватывает весь пакет. Если приложить между анодом и любой цифрой (катодом) напряжение 150—200 В, то заданная цифра будет иметь оранжево-красное свечение, характерное для неона. Существенным недостатком данного типа индикатора является достаточно высокое напряжение зажигания, что приводит к дополнительным конструкциям и увеличению габаритных размеров конструкции, так как вся схема цифровых отсчетных устройств низковольтная.

Электролюминесцентные индикаторы представляют собой плоскостное изображение цифры 8, разбитой на ряд соответствующих сегментов, с тем чтобы подачей напряжения на их определенную группу можно было бы высветить любую из цифр от 0 до 9. В качестве люминофора для высвечивания цифр используется кристаллофосфор на основе сульфидов цинка. Сегменты имеют выводы для подключения напряжения. На внутренней поверхности

индикатора нанесен проводящий слой из диоксида олова. Если приложить напряжение переменного тока в пределах 220—250 В частотой 500—1200 Гц между определенной группой сегментов (требуемой цифрой) и проводящим слоем из диоксида олова, то заданная цифра начинает светиться определенным цветом в зависимости от типа люминофора: зеленым, голубым, красным, желтым или синим.

Разновидностью данного типа индикатора является и катодолюминесцентная лампа типа ИВ (индикатор вакуумный), которая представляет собой стеклянный баллон, имеющий аноды — сегменты. Сегменты покрыты люминофором, в качестве катода используется тонкая сетка из оксида.

Индикаторы на жидких кристаллах (ЖК) по аналогии с электролюминесцентными индикаторами имеют подобную конструкцию сегментов для формирования соответствующих цифр. Во внутренней поверхности индикатора используются поляроидные пленки, а под основанием пластины установлены фольгированный алюминий или никель, играющие роль зеркала-отражателя. Под действием приложенного напряжения между комбинацией сегментов (цифры) и общим электродом происходит поляризация поляроидной пленки, вследствие которой заданная цифра становится непрозрачной (в виде черного цвета) на фоне серебристого отражателя (алюминиевой или никелевой фольги).

Основными преимуществами данных индикаторов является низкое пороговое напряжение (1—1,5 В), малое потребление электрической энергии.

Вакуумные накаливаемые индикаторы имеют внутри стеклянного баллона сегменты из вольфрамовых спиралек, подобно осветительным лампам накаливания. При изменении напряжения в пределах 2,5—6 В можно изменять яркость цифрового индикатора в широких пределах.

Цифровые универсальные приборы типов В7-22, В7-26 позволяют измерять напряжение постоянного тока (0,2—200—1000 В), постоянный ток (0,2—200 мА); напряжение переменного тока (0,2—300 В).

Принцип действия прибора (типа В7-22) основан на преобразовании измеряемой величины (U , I , R) в пропорциональный ей интервал времени и дальнейшем его преобразовании в дискретную форму и цифровой код.

Структурная схема прибора представлена на рис. 42, б. Прибор включает в себя входной преобразователь, аналогово-цифровой преобразователь, индикаторное устройство и блок питания. Входные преобразователи используются для преобразования измеряемых величин в напряжение постоянного тока. К ним относятся: делитель напряжения, преобразователь напряжения переменного тока в напряжение постоянного тока (U_-/U_-), преобразователь тока в напряжение (I/U_-), преобразователь сопротивления в напряжение (R/U_-). Аналогово-цифровой преобразователь исполь-

зуется для преобразования постоянного напряжения в цифровой код. Он формирует прямоугольные импульсы, длительность которых пропорциональна напряжению на его входе. Само индикаторное устройство используется для представления значения измеряемой величины и состоит из четырех знаковых индикаторов и знаков полярности «+», «-».

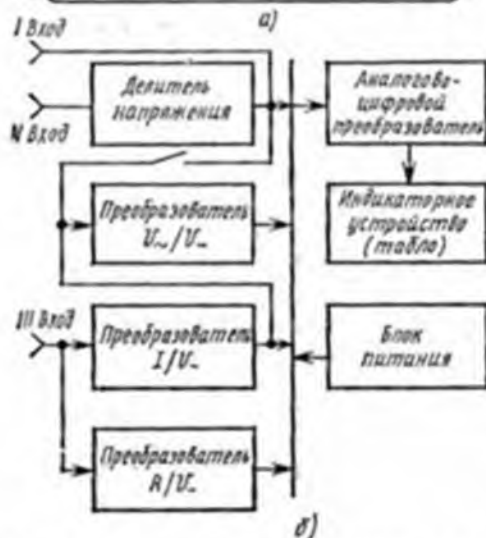
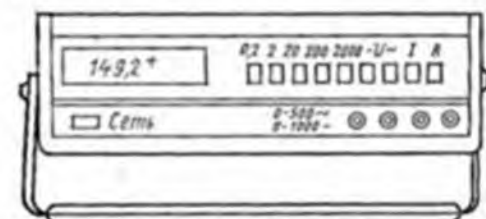


Рис. 42. Цифровой универсальный прибор В7-22:

а — общий вид, б — структурная схема

Для измерения требуемого параметра требуется нажать соответствующую клавишу U , I , R (рис. 42, а), установить требуемый диапазон измерения и подключить входную измеряемую величину на соответствующий вход I — III .

Основные выводы

1. Все средства электроизмерительной техники (СЭТ) характеризуются основной и дополнительной погрешностями.

2. СЭТ классифицируются по роду измеряемого тока, виду измеряемого параметра (ток, напряжение, сопротивление и т. д.), по способу представления измеряемой величины.

3. Для расширения пределов измерения амперметров и вольтметров используют добавочные сопротив-

ления. В амперметре такое сопротивление (шунт) подключают параллельно сопротивлению прибора, в вольтметре — последовательно сопротивлению прибора.

4. Номинальное значение шунтов и добавочных сопротивлений определяется расчетом (см. § 3).

5. Комбинированные измерительные приборы позволяют более эффективно выполнять целый ряд измерений различных параметров электрических цепей одним прибором.

6. Цифровые измерительные приборы по сравнению с аналоговыми имеют большие возможности в автоматизировании технологических процессов, обчете экономических показателей, программировании и учете энергетических ресурсов путем вывода результатов измерений на ЭВМ.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какую классификацию имеют электронизмерительные приборы?
 2. Что такое точность измерительного прибора?
 3. Как включаются в электрическую цепь амперметры и вольтметры?
 4. Какое преимущество имеет жидкотный успокоитель в электронизмерительных приборах перед другими типами успокоителей?
 5. Объясните принцип действия жидкотного успокоителя.
 6. В чем заключается мостовой метод измерения сопротивления?
 7. Какое преимущество имеют цифровые электронизмерительные приборы?
 8. Каковы основные принципы построения ЦИП?
- После усвоения материала главы и ответа на контрольные вопросы можно приступить к решению задач.

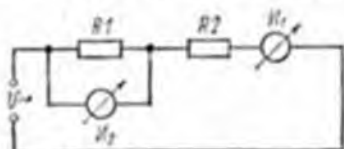


Рис. 43. Электрическая схема

Задача № 1

1. Определите, какие измерительные приборы (H_1 , H_2) установлены в электрической схеме (рис. 43).
2. Какой род тока они измеряют?
3. Каково внутреннее сопротивление каждого прибора?

Задача № 2

- При проведении ремонтных работ необходимо:
- 1) магазином сопротивления Р-33 создать сопротивление, равное 8645,3 Ом (см. рис. 37);
 - 2) проверить исправность диода (Д-226, Д-211) с помощью прозвонки (см. рис. 35).
- Как правильно выполнить данные работы?

ГЛАВА IV

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

§ 1. Температура. Единицы измерения температуры

Температура θ 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 $T^\circ\text{K}$, при этом между температурой по шкале Кельвина ($T^\circ\text{K}$) и по шкале Цельсия ($t^\circ\text{C}$) существует соотношение $T^\circ\text{K} = t^\circ\text{C} + 273,16$.

В 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. 44) применяют для измерения температуры от -100 до $+650$ °C. Принцип действия термометров расширения основан на объемном расширении жидкости, находящейся внутри

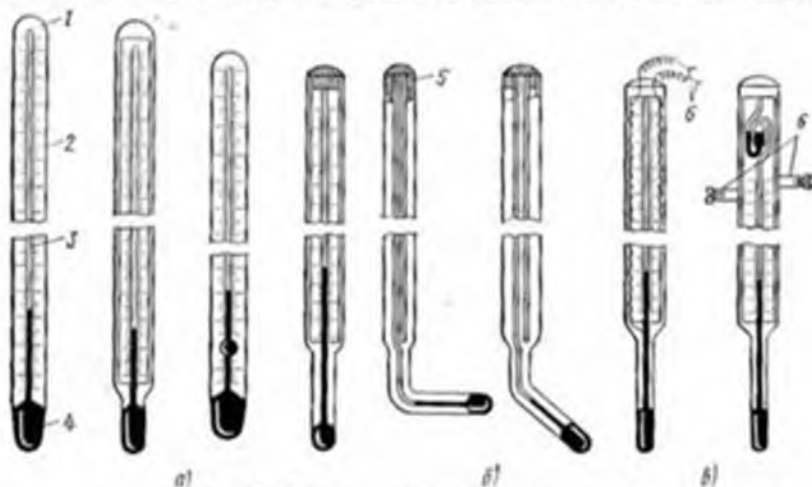


Рис. 44. Ртутные стеклянные термометры:

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

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: $V_1 = V_0(1 + \gamma t)$, где V_1 — объем жидкости при нагревании на t °C, V_0 — объем жидкости при 0 °C; γ — коэффициент объемного расширения, t — разность температур, °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 капил-

жидкости 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 °С. 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 ± 5 °С.

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 °С.

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 оборотной 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 $\Delta t = -16 \cdot 10^{-4} K h (t - t_0)$, 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_0 — средняя температура окружающей среды, °С.

Значения коэффициента K для определения поправки температуры

Тип стекла термометра	термометри- ческое	тип 59III	тип 600	тип 700
(ГОСТ 1224—71)				
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.

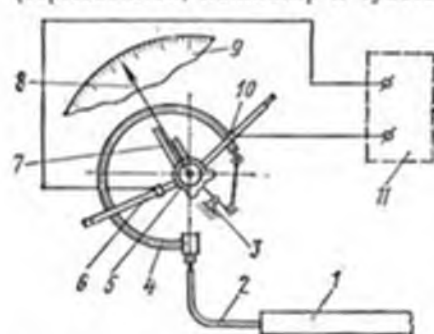


Рис. 45. Схема манометрического термометра ТПГ-СК:

1 — термобаллон, 2 — капилляр, 3 — сектор, 4 — датчик (манометрическая трубка), 5 — трубка, 6, 10 — установочные контакты, 7 — поводок, 8 — стрелка, 9 — шкала, 11 — блок зажимов

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. 45) имеет герметично соединенные между собой термобаллон 1, капилляр 2 и манометрическую трубку 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 капилляра 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 трубкой 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 стали или меди, внутренний диаметр которой 0,2—0,5 мм.

Данные приборы имеют запаздывание 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. 46), которые снабжены электроконтактными устройствами для сигнализации или автоматического управления по минимальному и максимальному значению температуры; термометрический



Рис. 46. Электроконтактный термометр ТПГ-СК:
1 — термобаллон, 2 — капилляр, 3 — показывающий прибор



Рис. 47. Электроконтактный термометр ТС-100:
1 — термобаллон, 2 — капилляр, 3 — задатчик температуры, 4 — прибор

сигнализатор ТС-100 (рис. 47) — 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 (термо-

электродов), 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» спая 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» спая 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.

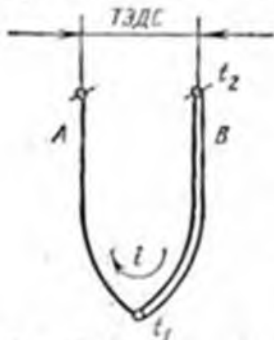


Рис. 48. Цепь термопары

На рис. 48 изображена цепь, состоящая из двух разнородных проводников А и В, нижние концы которых спаиваются между собой. Нижние и верхние концы термопары находятся при различной температуре.

Если температура t_1 «горячего» спая выше температуры «холодного» спая, то ток потечет в направлении, указанном на рис. 48, а термо-э. д. с., развиваемая термопарой, определяется разностью потенциалов спаев: $E_{AB} = E_{AB(t_1)} - E_{AB(t_2)}$.

Для ряда пар проводников, используемых для термоэлектрических термометров, существует определенная зависимость термо-э. д. с. (ТЭДС) от разности температур «горячего» и «холодного» спаев, а сама ТЭДС измеряется милливольтметром или потенциометром постоянного тока, включенным в разрыв «холодного» спая.

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 $+1800$ °С.

Характеристики основных типов термоэлектрических термометров даны в табл. 2.

По устойчивости к механическим воздействиям термодатчики подразделяют на виброудароустойчивые, ударопрочные и обыкновенные; по инерционности — малонерционные (0—1,5 мин), среднерционные (1,5—2,5 мин), высокonerционные (2,5—8 мин).

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

Конструктивно термометр сопротивления (рис. 49) выполняется из медной или платиновой изолированной проволоки 2 на изоляционный каркас 1. Для защиты от механических повреждений и удобства монтажа термометры сопротивления

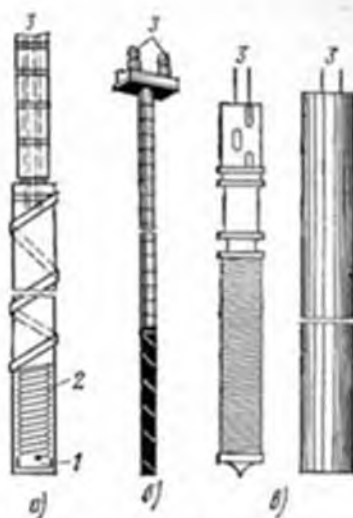


Рис. 49. Устройство термометров сопротивления:

а, б — платиновые, г — медный; 1 — изоляционный каркас, 2 — изолированная проволока, 3 — выводы

включают в защитную арматуру различных модификаций (рис. 50).

Термометры сопротивления бывают одинарные и двойные. В двойных термометрах сопротивления встроены два изолированных

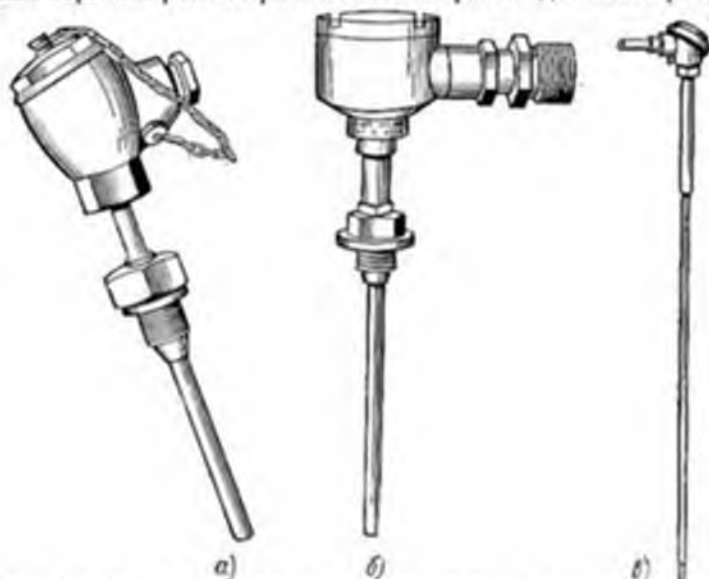


Рис. 50. Общий вид датчиков температуры — термометров сопротивления:

а — ТСР-175, б — ТСР-072, г — ТСР-0063

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.

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.

Наиболее распространенными преобразователями температуры являются термометры сопротивления медные градуировок 50 М и 100 М; платиновые градуировок 50 П и 100 П; числа 50 и 100 обозначают сопротивление чувствительного элемента при 0°C (50 Ом, 100 Ом), а буквы М и П обозначают материал обмотки термометра сопротивления — соответственно медь и платина.

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 ($\alpha_{\text{медь}} = 4,3 \cdot 10^{-3}$).

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. 3—6.

Основными факторами, влияющими на погрешность измерения температуры технологических объектов, являются: инерционность термодатчиков, неправильная их установка, 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 °С используют компрессорное масло типа КС-19, при температуре свыше 200 °С — чугуны 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.

Основные выводы

1. При измерении температуры объектов широко используют датчики температуры: термометры сопротивления и термоэлектрические преобразователи температуры (термопары).

2. Принцип действия данных датчиков основан на разных физических явлениях, поэтому их нельзя сравнивать (объединять): при изменении температуры объекта термометр сопротивления изменяет свое электрическое сопротивление, термопара изменяет свою термо-Э. Д. С.

3. Указанные типы датчиков самостоятельно не измеряют и не регистрируют показания температуры, а используются только в комплекте с измерительным прибором.

§ 4. Вторичные приборы для измерения температуры

Термометры сопротивления и термоэлектрические преобразователи температуры имеют разные выходные величины (у первых — электрическое сопротивление, у вторых — термо-э. д. с.). Для измерения температуры объектов в комплекте с указанными датчиками используют специальные приборы с однозначной измеряемой физической величиной.

Для измерения малых напряжений (э. д. с.) в пределах 0—100 мВ используют милливольтметры и потенциометры.

Для измерения температуры объектов с термоэлектрическими преобразователями используют милливольтметры и потенциометры, шкалы которых отградуированы в градусах Цельсия. В комплекте с термометрами сопротивления используют приборы, измеряющие электрическое сопротивление (омметры). К таким приборам относятся логометры и мосты, шкалы которых отградуированы в градусах Цельсия.

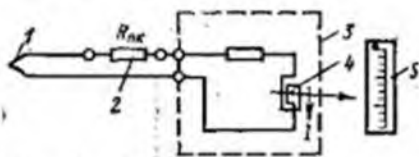


Рис. 51. Схема соединения термопары с милливольтметром:

1 — термопара, 2 — подгоночная катушка, 3 — милливольтметр, 4 — рамка прибора, 5 — шкала

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

Принцип измерения температуры милливольтметром 3 (рис. 51) 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 4 прибора, 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 одновременно являются токопроводниками к рамке. В положении равновесия стрелки вращающий момент уравнивается противодействующим моментом.

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

Электрическая схема милливольтметра с двухдиапазонным регулирующим устройством Ш-4501 показана на рис 52. Измерительный механизм ИМ представляет собой прибор магнитоэлектрической системы с внутрирамочным магнитом и креплением подвижной рамки на опорных кернах и пружинных подпятниках. При подключении термопары ТП на зажимы прибора 1, 2 через обмотку рамки проходит постоянный электрический ток. В результате взаимодействия магнитного потока постоянного магнита с током рамки возникает вращающий момент $M_{вр}$, под действием которого рамка с

указательной стрелкой поворачивается на угол α . При этом вращающий момент $M_{вр}$ будет уравновешиваться противодействующим моментом пружин $M_{пр}$.

В цепи обмотки рамки для компенсации влияния окружающей температуры на показания прибора установлен термокомпенсатор

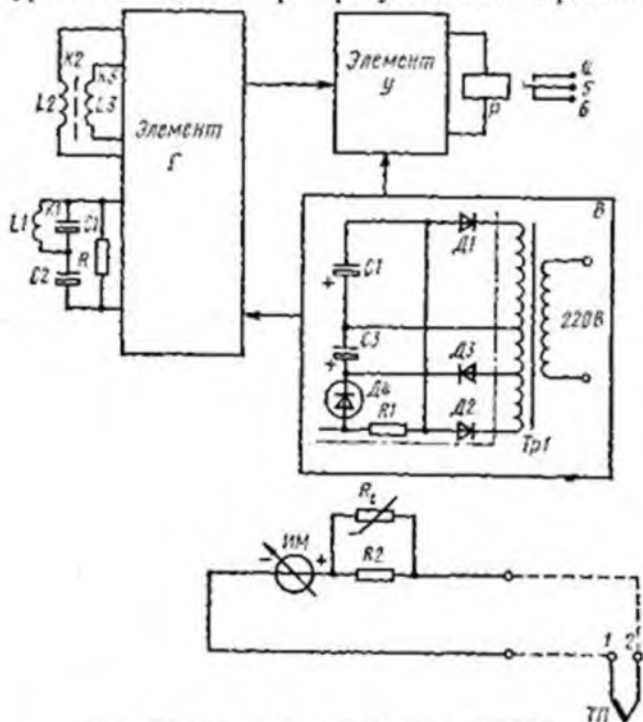


Рис. 52. Схема милливольтметра Ш-4501:

ИМ — измерительный механизм, Р — реле, Г — генератор, У — усилитель, В — блок питания, ТП — термопара

R_t , который имеет отрицательный температурный коэффициент. Регулирующая часть прибора состоит из двух элементов: элемент Г представляет собой высокочастотный автогенератор с индуктивными обмотками $L1$, $L2$, $L3$ на ферритовых сердечниках; элемент У является трехкаскадным усилителем, нагрузкой которого служит обмотка промежуточного реле Р, контакты 4, 5, 6 которого используются для автоматической сигнализации или регулирования температуры объекта в заданном режиме. Элемент В — 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 G генерирует высокочастотные колебания, которые поступают на вход релейного усилителя $У$. Ток на выходе элемента $У$ достаточен для срабатывания реле P , 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 $У$ становится равным 0, поэтому обмотка реле P 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. 51) подключают только компенсационным проводом, а градуировка прибора должна строго соответствовать градуировке термопары. Подгонку сопротивления линии осуществляют подгоночной катушкой $R_{пк}$ 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

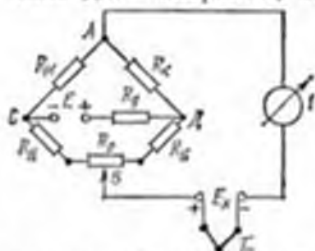


Рис. 53. Мостовая потенциометрическая схема:

I — гальванометр, E — источник питания, E_x — э. д. с. датчика, R_m — термокомпенсационное сопротивление, R_1, R_2, R_3, R_4 — катушки измерительной схемы, R_5 — градуировочное сопротивление, R_6 — сопротивление реохорда, R_7 — добавочное сопротивление, T_n — термопара

других величин, преобразуемых с помощью датчиков в напряжения 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 схемы, приведенной на рис. 53, 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 получения

расчетного тока в диагонали. В диагональ AB включается датчик (термопара) E_x и чувствительный гальванометр 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 гальванометре 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

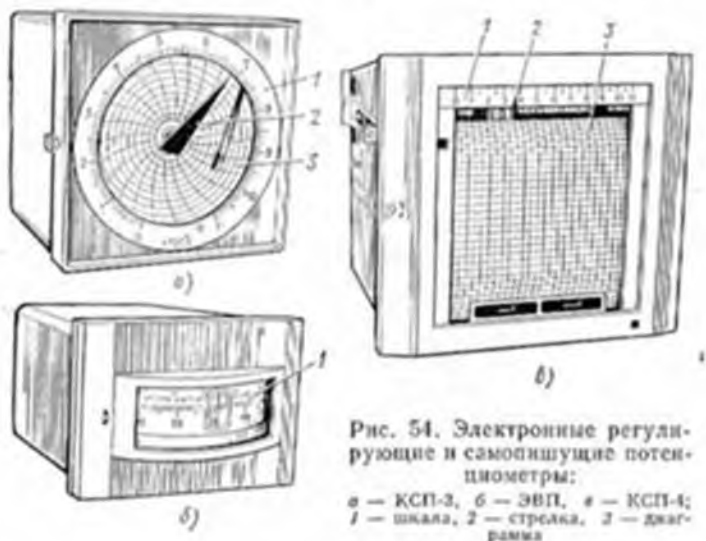


Рис. 54. Электронные регулирующие и самопишущие потенциометры:
а — КСП-3, б — ЭВП, в — КСП-4;
1 — шкала, 2 — стрелка, 3 — диаграмма

показаний; запись производится на круглой или ленточной диаграммах. Привод диаграмм осуществляется синхронным двигателем. В зависимости от числа 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 ЭВП (рис. 54, б). В ЭВП установлена вращающаяся цилиндрическая шкала; прибор имеет цепь автоматической сигнализации и является регулирующим прибором.

Автоматические электронные потенциометры КСП, КВП (рис. 54, 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.

Рассмотрим работу потенциометра КСП-2 с полупроводниковым усилителем типа УПД (рис. 55).

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

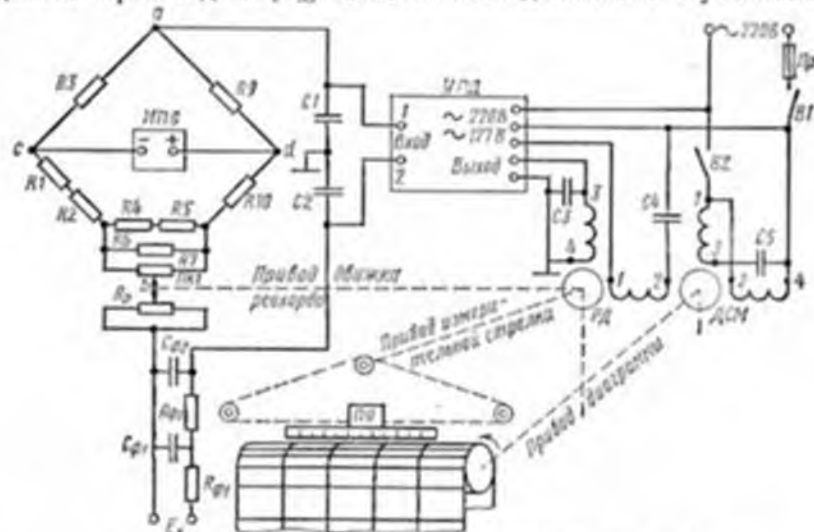


Рис. 55. Схема автоматического потенциометра КСП-2:

ИПС — источник постоянного тока, УПД — усилитель, РД — двигатель измерительной системы, ДСМ — двигатель привода диаграммы

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 (зажимы 1, 2) подается сигнал постоянного тока, равный разности э. д. с. и напряжению в точках a и b . Сигнал постоянного тока преобразуется вибронпреобразователем в переменный ток и усиливается до напряжения, достаточного для приведения в действие реверсивного двигателя РД (зажимы 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.

Для устранения влияния п о м е х (поперечных и продольных), возникающих от электрических наводок кабелей и проводов в цепи

темоэлектрического 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 типа УПД имеет четыре основных узла: входное устройство, усилитель напряжения, усилитель мощности, источник питания.

Входное устройство усилителя типа УПД (рис. 56) состоит из вибропреобразователя ВП и входного трансформатора $Tr1$, 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.

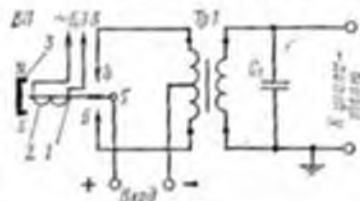


Рис. 56. Входное устройство усилителя УПД

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. 55) 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.

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 э м и т т е р н ы м, другой — в обратном направлении и называется к о л л е к т о р н ы м. Средняя область транзистора, общая для обоих переходов, называется б а з о й.

В зависимости от характера проводимости базы различают транзисторы типа $p-n-p$ (рис. 57, а) и типа $n-p-n$ (рис. 57, б). База является областью взаимодействия электронно-дырочных пере-

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

В схемах усилителей используются три способа включения транзисторов (рис. 58): 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.

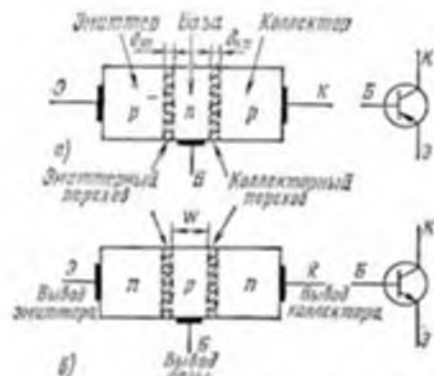


Рис. 57. Типы транзисторов по проводимости

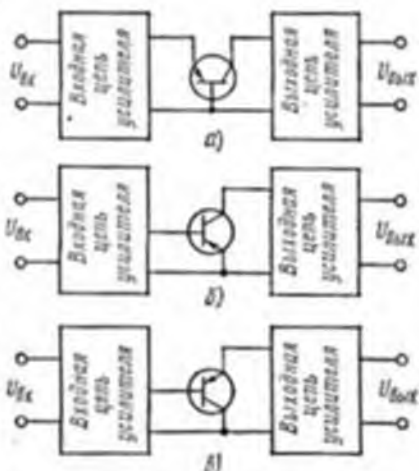


Рис. 58. Способы включения транзисторов:

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

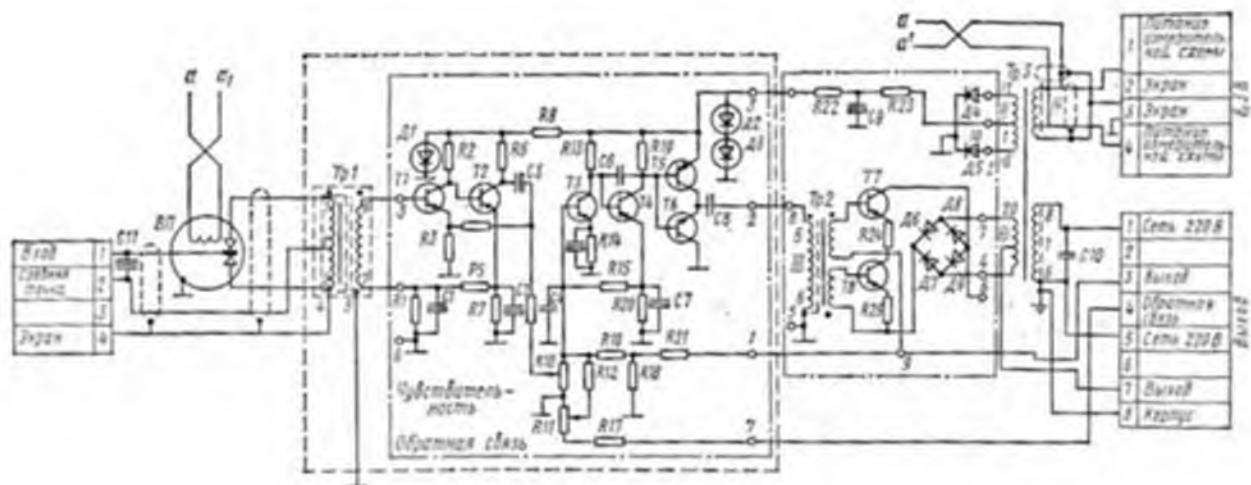
Коэффициент усиления по току — отношение изменения тока выхода транзистора к вызвавшему его изменению входного тока: $K_I = I_{вых} / I_{вх}$.

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

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. 59).

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: $K_U = U_{вых} / U_{вх} = U_{к} / U_{э}$, где K_U — коэффициент усиления по напряжению, $U_{к}$ — 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 сопротивление 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 управляющей обмотки реверсивного двигателя типа РД. Поэтому после пятого каскада усилителя напряжения включается усилитель мощности, выполненный на транзисторах $T7$, $T8$ по схеме с общим эмиттером. Связь усилителя мощности с усилителями напряжения осуществляется через трансформатор $Tr2$.

Усилитель питается от силового трансформатора $Tr3$, две вторичные обмотки которого нагружены выпрямителями. Выпрямитель на диодах $D4$, $D5$ питает усилитель напряжения, выпрямитель на диодах $D6$ — $D9$ — усилитель мощности. Между средними точками вторичной обмотки силового трансформатора $Tr3$ 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. 55) состоит из статора и ротора. Ротор представляет собой короткозамкнутую обмотку типа «беличье колесо». 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. 60) 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. При выполнении равенства $R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_x$ ток в измерительной диагонали (в гальванометре) равен нулю. Это уравнение называется уравнением баланса моста.

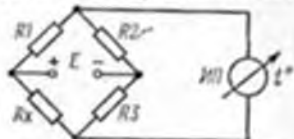


Рис. 60. Мостовая схема измерения температуры: $R_1 - R_3$ — плечи моста, R_x — сопротивление датчика, ИП — измерительный прибор, E — источник питания

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 диаграм-

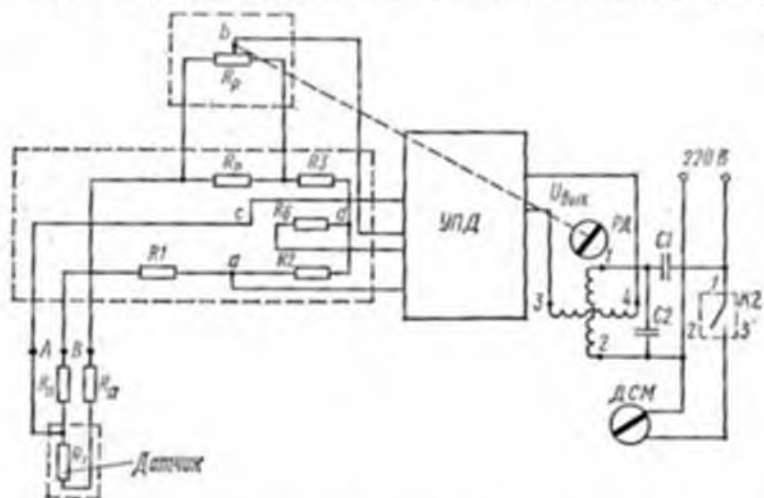


Рис. 61. Схема подключения термометра сопротивления к электронному мосту КСП

ме ЭМД, ЭМ и МЭД, самопишущие мосты с записью на ленточной диаграмме ЭМП, МС, МСП, КСМ.

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

Измерительная схема прибора (рис. 61) 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 УПД.

Усиленное напряжение подается на управляющую обмотку 3—4 реверсивного двигателя 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 ограничено 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 л о г о м е т р ы. Логометры, подобно мостам, работают в комплекте с термометрами сопротивления. Измерительный механизм логометра представляет собой прибор магнитоэлектрической системы с внутрирамочной 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 ЛР-64-02 и Ш-6900. Два последних типа имеют двухдиапазонное регулирующее устройство для целей сигнализации и позиционного регулирования.

Электрическая схема логометра ЛР-64-02 показана на рис. 62. Прибор имеет измерительную и регулирующую части. Измерительная часть представляет собой мостовую схему, в одно из плеч которых включен термометр сопротивления R_T (зажимы 2—3). Диагональ питания (зажимы 1—4) подключена к внутреннему источнику стабилизированного питания.

В измерительную диагональ подключены две рамки r_1 и r_2 , представляющие подвижную часть измерительного механизма ИМ. Рамки включены в схему так, чтобы создаваемые ими вращающие моменты, образованные взаимодействием магнитного поля постоян-

ного 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

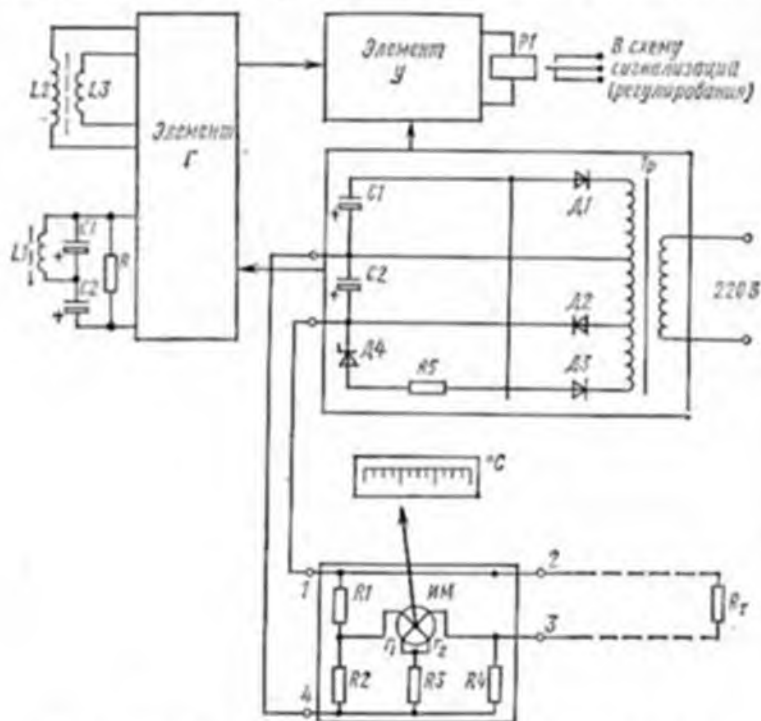


Рис. 62. Электрическая схема логометра типа ЛР-64-02

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 поворота 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 с индуктивными обмотками $L1$ — $L3$ на ферритовых сердечниках и усилителя $У$ на трех транзисторах.

Схема и работа регулирующей части логометра ЛР-64-02 аналогична рассмотренной схеме милливольтметра Ш-4501.

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

При двухпроводной схеме (рис. 63, а) сопротивления обоих проводов, соединяющих термометр с прибором вместе с подгоноч-

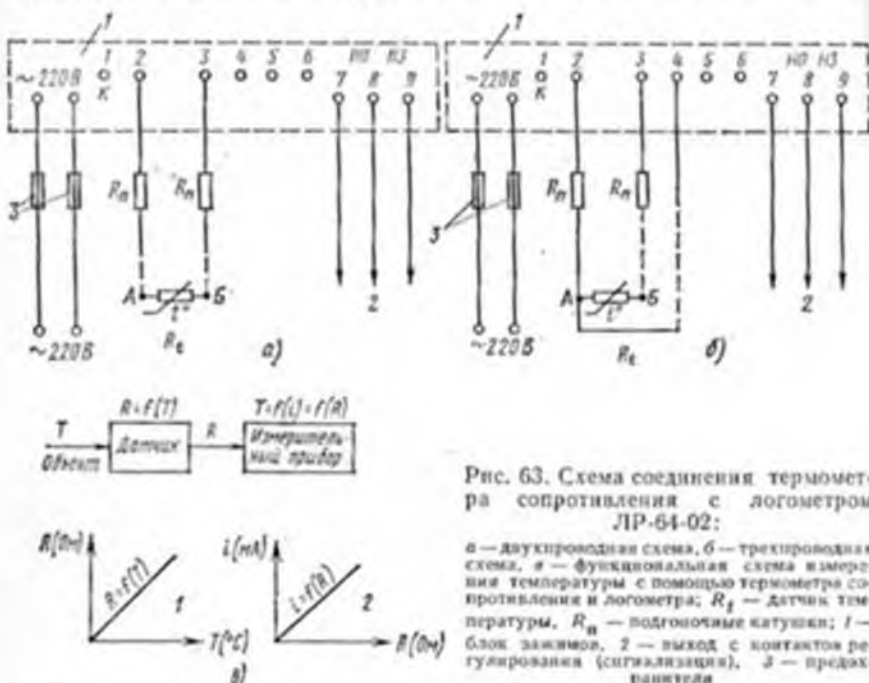


Рис. 63. Схема соединения термометра сопротивления с логометром ЛР-64-02:

а — двухпроводная схема, б — трехпроводная схема, в — функциональная схема измерения температуры с помощью термометра сопротивления и логометра; R_t — датчик температуры, R_n — подгоночные катушки; 1 — блок зажимов, 2 — выход с контактов регулирования (сигнализация), 3 — предохранитель

ной катушкой, подключенной к зажиму 3, должны быть равны половине сопротивления линии, указанной на шкале прибора. Сопротивление линий всех типов современных логометров составляет 5 и 15 Ом.

Сопротивление линии подгоняют уменьшением сопротивления подгоночной катушки R_n , 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. 63, б) сопротивление каждого из соединительных проводов вместе с подключенными катушками, присоединяемых к зажимам 2, 3, должно составлять половину значения сопротивления линии R_n , 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: $R_a + R_b$; $R_a + R_c$; $R_b + R_c$, где R_a — сопротивление провода, подключаемого к зажиму 2, при снятой подгоночной катушке R_n , R_b — сопротивление провода, подключаемого к зажиму 3, при снятой подгоночной катушке R_n , R_c — сопротивление провода, подключаемого к зажиму 4;

значение сопротивления R_a и R_b определяют по формулам:
 $R_a = [(R_a + R_b) + (R_a + R_c) - (R_b + R_c)]/2$; $R_b = [(R_a + R_b) - (R_a + R_c) + (R_b + R_c)]/2$;

уменьшают значение сопротивления подгоночных катушек так, чтобы каждый из проводов линии R_a и R_b вместе со своей катушкой R_n 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_n к прибору согласно схеме (рис. 63, 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

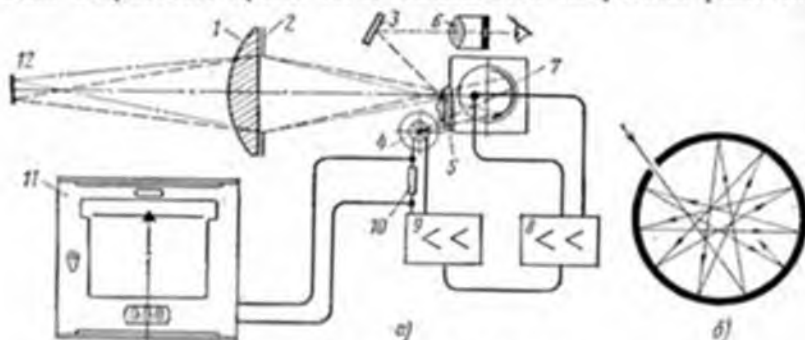


Рис. 64. Пирометр ФЭП-4:

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 — калибровочное сопротивление, 11 — потенциометр, 12 — объект измерения температуры

дли волн. При большей температуре большая часть энергии излучается с меньшей длиной волны. Эталонем максимальной лучеиспускательной и лучепоглощающей способности является абсолютно черное тело. Однако ни один из материалов в природе не облада-

ет такой способностью. Излучательная способность абсолютно черного тела равна полному количеству энергии, излучаемой с 1 м^2 поверхности за 1 с (Вт/м^2). На рис. 64, 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: $\epsilon_{\Sigma} = \sigma T^4$, где ϵ_{Σ} — 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°C . Основная погрешность измерения $4-8\%$.

Принцип действия фотоэлектрического пирометра ФЭП-4 (рис. 64, а) заключается в том, что излучение от объекта измерения 12 вместе с излучением от эталонной лампы 4 в противофазе попадает на фотозащитный элемент 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°C . Основная погрешность не превышает $\pm 1\%$ при измерении температуры не выше 2000°C и $1,5\%$ — при температуре выше 2000°C .

Радиационный пирометр РАПИР является измерителем полного излучения и предназначен для измерения температур в диапазоне $100-2500^\circ\text{C}$. Основным элементом прибора является телескоп ТЭРА-50 (рис. 65) с термобатареей, преобразующей тепловое излучение тела в термо-э. д. с., которая измеряется вторичным прибором.

В зависимости от диапазона измеряемой температуры выпускается 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 термодпар типа хромель — алюмель. При таком соединении результиру-

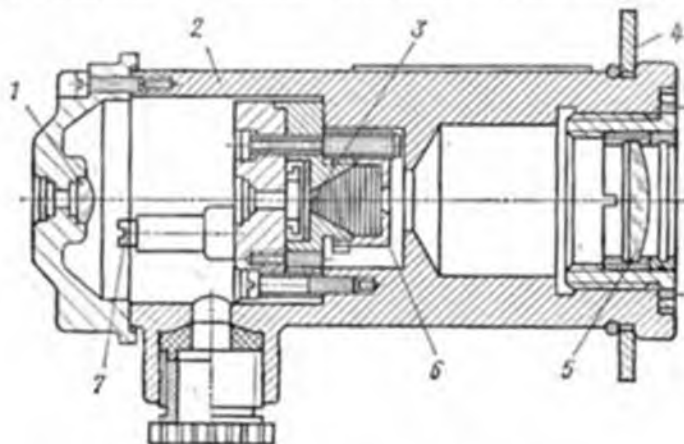


Рис. 65. Общий вид телескопа ТЭРА-50:

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

ющая термо-э. д. с. батареи равна сумме термо-э. д. с. составляющих ее элементов, что значительно повышает чувствительность прибора.

При градуировках пирометров устанавливается зависимость между температурой объекта измерения и напряжением термобатарей приемника.

Для устранения погрешности измерений от температуры свободных концов термодпар 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 термобатарей.

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, служа-

щие для измерения температуры печей в случае сильной загрязненности и наличия пламени.

Непосредственно оптические системы телескопов для измерения температуры в интервале $100-500^{\circ}\text{C}$ выполняются из флюорита или фтористого лития, для температуры $400-2000^{\circ}\text{C}$ — из кварцевого стекла, для температуры $900-3000^{\circ}\text{C}$ — 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 $0-5$ и $0-20$ мА и напряжения постоянного тока $0-10$ В.

Преобразователи НП-СЛ и ПТ-ТС (рис. 66) предназначены для преобразования величины сопротивления термометра в

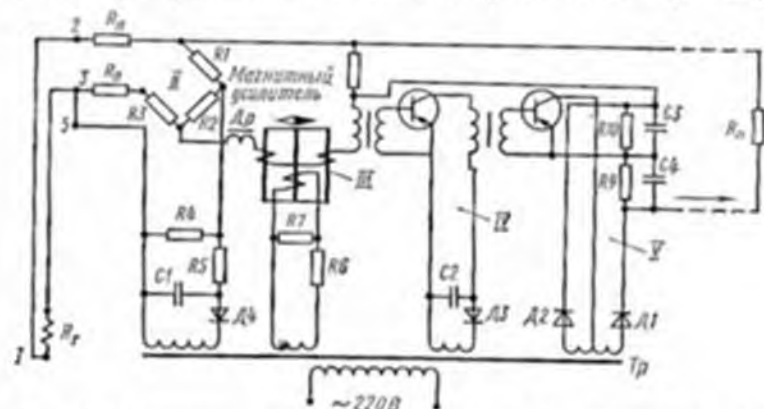


Рис. 66. Упрощенная схема преобразователя температуры ПТ-ТС: I — термометр сопротивления, II — измерительный мост, III — магнитный усилитель, IV , V — усилитель напряжения, R_n — подгоночные сопротивления, Tr — трансформатор

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 трех-каскадного 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 каскады являются усилителями напряжения IV , V , кроме того, третий каскад одновременно является выпрямителем. Для этого усилитель напряжения V питается через два диода $D1-D2$ от обмоток трансформатора, находящихся в противофазе.

В цепь каждого диода включен нагрузочный резистор ($R9-R10$). Если входной сигнал отсутствует, то через оба резистора проходит небольшой ток и на сопротивлениях образуются равные падения напряжения, результирующее напряжение на которых, разное их разности, равно нулю. При появлении входного сигнала ток через один диод увеличивается, а через другой уменьшается — получается выходной ток. Падение напряжения при протекании этого тока через сопротивления обратной связи уравнивает э. д. с. измерительного моста.

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 зажимы 2—3—5, при этом сопротивление проводов линии должно быть равно 2,5 Ом (рис. 67). В зависимости от сопротивления нагрузки токовой цепи вторичный прибор подключается к двум зажимам 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. 68) 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

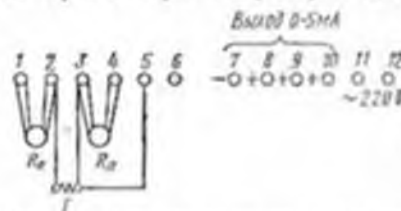


Рис. 67. Схема включения преобразователя ПТ-ТС с термометром сопротивления:

I — термометр сопротивления, R_n — нагрузочное сопротивление

переключателями типа ПДП-ТП используют для подключения термопар к вторичным приборам.

Компенсационная коробка КТ-54 (рис. 69, а) автоматически компенсирует влияние изменения температуры свободных концов термопар на показания милливольтметра. Компенсация осуществляется мостовой схемой из сопротивлений $R1—R4$. При отклонении окружающей температуры от 20°C за счет сопротивления $R4$ в мостовой схеме возникает выходное напряжение (в диагонали CD), которое встречным включением компенсирует термо-Э. д. с., возникшую при изменении температуры свободного конца термопары.



Рис. 68. Переключатель типа ПМТ

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. 69, б), смонтированные вместе с понижающим

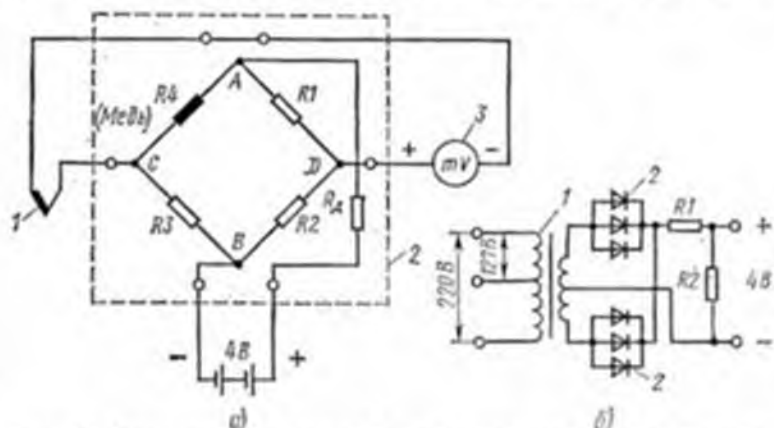


Рис. 69. Соединение термопары с милливольтметром через компенсационную коробку КТ-54:

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

трансформатором. Они предназначены для питания логометров с напряжением постоянного тока $(4 \pm 0,2)$ В. Максимальная нагрузка устройств питания составляет 0,5 А.

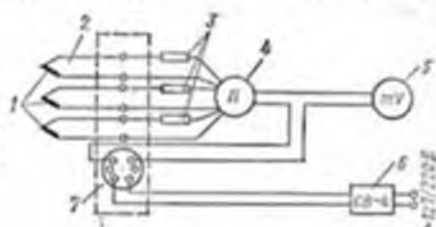
При измерениях высоких температур ($600—1600^\circ\text{C}$) на технологическом оборудовании свободные концы термопар повышают свою температуру в пределах 100°C , что вносит погрешность в измерение действительной температуры. Поэтому для устранения данной погрешности при измерении температуры термоэлектрическими

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

Рис. 70. 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



(табл. 7). Так, для термопар хромель — конпель используется компенсационный провод ХК; для термопар хромель — алюминель — провод М; для термопар платинородий — платина — провод П.

На рис. 70 приведена схема соединения термопар с милливольтметром с использованием вспомогательных элементов.

§ 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 замыкаются ртутью при достижении заданной температуры.

Термоконтакты типа ТК применяются в диапазоне температур от -5 до $+300$ °C. Допустимая погрешность датчиков не превышает в зависимости от рабочего диапазона температур $\pm 2-5$ °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. 45, 46).

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

Дистанционные двухдиапазонные терморегуляторы типов ТР-1, ТДК и ТДД работают в интервале от -30 до 50 °C. Настройка регуляторов производится перестановкой указателя — задатчика. На рис. 71 представлен общий вид регулятора типа ТР-1.

Биметаллические сигнализаторы в зависимости от типа и модификации используют в пределах от -30 до $+250$ °C. В качестве чувствительных элементов сигнализаторов применяется сплав из двух металлов (биметалла), 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 $\pm 1-5$ °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 $0-40$ °C; $-30 \div +40$ °C; $+30 \div +100$ °C и $0-250$ °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. 72. 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.

Термисторные сигнализаторы являются более современными элементами автоматической защиты технологического

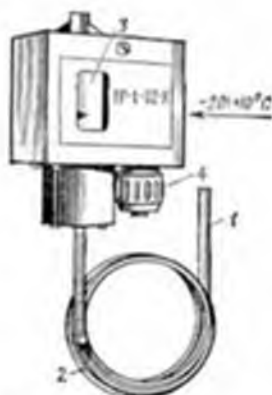


Рис. 71. Терморегулятор типа ТР-1:

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

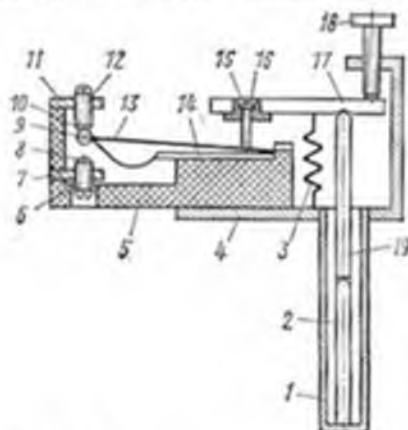


Рис. 72. Дилатометрический сигнализатор температуры ТРДЭ:

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

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 нагрева резко уменьшает свое электрическое сопротивление.

На рис. 73 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 P .

При достижении заданной температуры сопротивление датчика резко уменьшается (в сотни раз), ток в цепи увеличивается и происходит срабатывание реле P , 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 Π служит для переключения задания по температуре срабатывания через каждые 10°C .

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, $^\circ\text{C}$.

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

Общий вид прибора и его электрическая схема показаны на рис. 74.

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

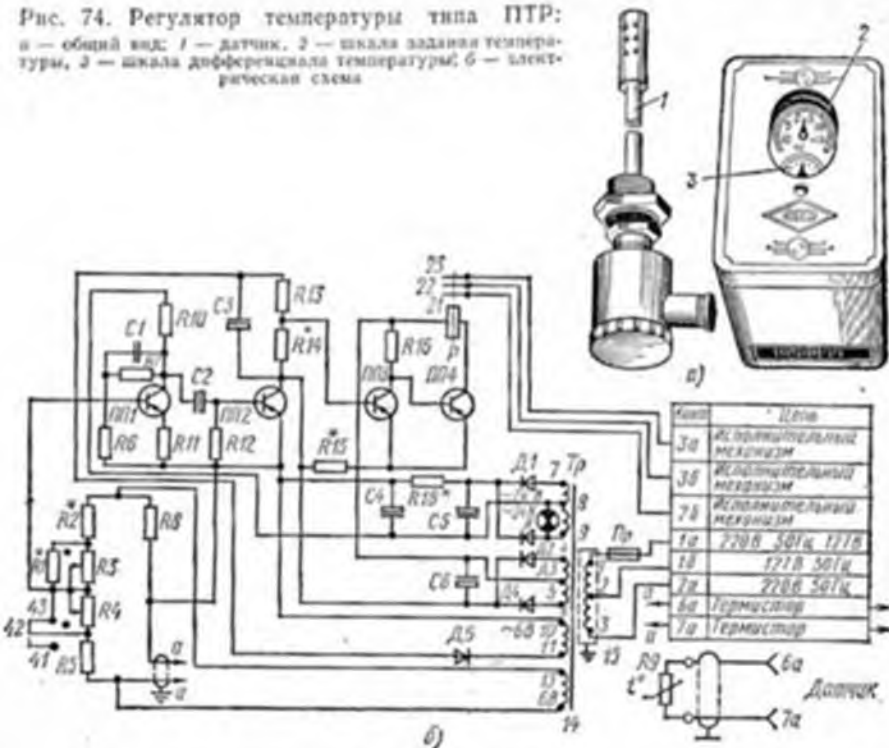
Датчик прибора (термистор R_9) включается в одно из плеч измерительного моста переменного тока, образованного сопротивлениями $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_8$.

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).

Рис. 74. Регулятор температуры типа ПТР:
 а — общий вид; 1 — датчик, 2 — шкала задания температуры, 3 — шкала дифференциала температуры; б — электрическая схема



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 мостов, 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 $C3$ 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.

Общие принципы измерения температуры технологических объектов. Для достоверности и точности измеряемой температуры или ее регулирования необходимо выполнить ряд основных требований:

1. Правильно выбрать место установки датчика температуры, тип датчика температуры в соответствии с его инерционностью, точностью и градуировкой, выбрать тип и градуировку вторичного показывающего или регулирующего прибора.

2. Место установки датчика (отбор для измерения температуры) должно определяться из конструктивных особенностей самих технологических объектов. Для трубопроводов глубина погружения датчика должна составлять половину диаметра трубопровода, причем датчик устанавливается навстречу потоку измеряемой среды (газа, жидкости).

3. Монтажная длина датчика выбирается из существующего ряда (мм): 60, 80, 120, 160, 250, 320, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3200. Различают два типа установки датчика — прямое и косвенное. При прямом способе датчик температуры монтируют непосредственно в измеряемую среду, при косвенном — устанавливают в погружаемую гильзу. В этом случае для достоверности показаний температуры пространство между гильзой и датчиком заполняется в зависимости от измеряемой температуры медными опилками, толуолом, маслом и др.

Основные выводы

1. Необходимо правильно выбирать места для отборов и установки датчиков.
2. Градуировка датчика и вторичного прибора должна быть одинаковой.
3. Для определения значения выходной величины датчика температуры требуется использовать их градуировочные характеристики (табл. 3—6).
4. Общая структура преобразования и измерения температуры объекта дана схемой (рис. 63, а): датчик, установленный на объекте, при изменении температуры объекта изменяет свое сопротивление R в линейной зависимости (график 1). В свою очередь, ток в измерительном приборе зависит от сопротивления датчика (график 2).

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. 73, будет ли работать схема АТВ-229 при обрыве датчика ТДП вследствие вибрации защищаемого оборудования.
9. По табл. 8 определите, какую термо-э. д. с. развивает термоэлектрический термометр градуировки ПП при $t=800^\circ\text{C}$.

После усвоения материала главы и ответа на контрольные вопросы можно приступить к решению задач.

Задача № 3

Термометр сопротивления градуировки 50 М работает в комплекте с логометром типа Ш-6900.

Определите: область измерения температуры данным комплектом; значение сопротивления датчика данной градуировки при температуре 150°C (см. табл. 5).

Задача № 4

Поясните принцип действия автоматического электронного потенциометра в комплекте с термоэлектрическим преобразователем температуры типа ХК при изменении температуры объекта. При обосновании своих выводов ориентируйтесь на материал § 4.

§ 1. Понятие о давлении и разрежении

Давление — величина, характеризующая интенсивность сил, действующих на какую-нибудь часть поверхности тела по направлениям, перпендикулярным этой поверхности.

Существуют три понятия давлений: атмосферное, избыточное и абсолютное.

Атмосферное давление $P_{атм}$ — 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 $P_{изб}$ 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 $P_{абс}$ равно сумме атмосферного и избыточного давлений: $P_{абс} = P_{изб} + P_{атм}$.

В Международной системе единиц (СИ) давление выражается в Па (паскалях) (1 Па = 1 Н/м²). Паскаль — давление, вызываемое силой 1 Н, равномерно распределенной по поверхности площадью 1 м². Внесистемные 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. термопары, явление электрического разряда и изменение ионизации газа.

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

При монтаже и установке приборов давления необходимо преду-

смотреть: 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.

Принцип действия таких приборов основан на основном уравнении гидростатики — законе Паскаля, позволяющем сформулировать работу сообщающихся сосудов. Этот принцип нашел широкое применение в технике при измерении давления и разности давлений (перепаде давлений).

Закон Паскаля позволяет сделать важный вывод: уровни жидкостей в сообщающихся сосудах при одинаковых давлениях в обоих коленах лежат в одной горизонтальной поверхности, т. е. если $P_1 = P_2$, то $H_1 = H_2$.

Наиболее распространенным прибором является U-образный манометр (рис. 75), 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

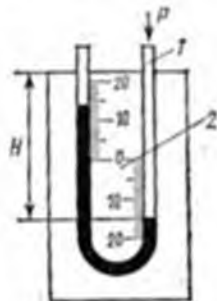


Рис. 75. Манометр U-образный:

1 — трубка, 2 — шкала

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-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 обеим трубкам.

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

Тягонапоромер жидкостный типа ТНЖ (рис. 76) выпускают двух видов: для настенного и щитового монтажа.

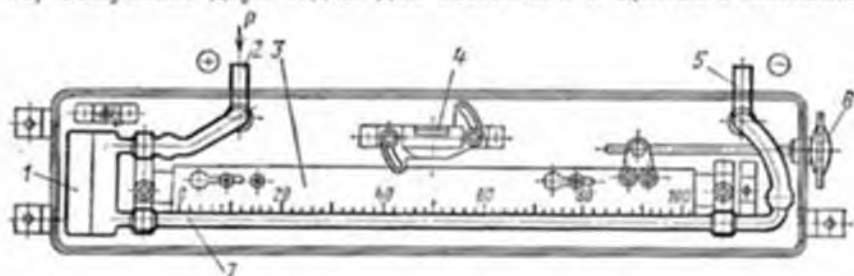


Рис. 76. Тягонапоромер типа ТНЖ

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.

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.

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 является однотрубным, чашечным манометром и предназначен для измерения давлений, разрежений и разности давлений (перепадов давлений) неагрессивных газов, для лабораторных точных замеров и проверки приборов.

Прибор (рис. 77) является разновидностью однотрубного манометра с трубкой, наклоненной к горизонту под углом α . Использование такой трубки позволяет увеличить диапазон и точность измерений.

Прибор для установки в горизонтальное положение имеет два уровня 7. При измерениях чашка 4 заполняется этиловым спиртом до нулевого деления шкалы уровня 3. 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 3 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.

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

Чувствительным элементом напоромера (рис. 78) 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.

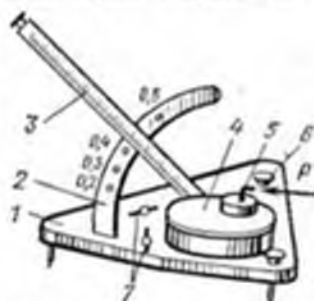


Рис. 77. Микроманометр типа ММН:

1 — основание, 2 — шкала, 3 — шкала уровня, 4 — чашка, 5 — кран, 6 — измерительная трубка, 7 — уровень

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

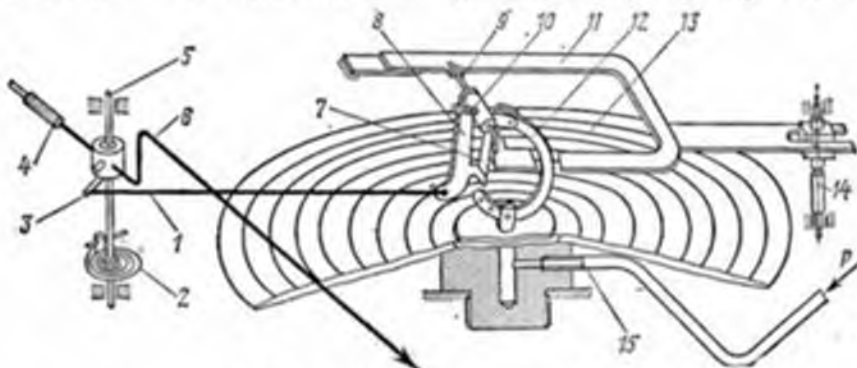


Рис. 78. Манометр типа НМ-П:

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

нелинейности в приборе предусмотрена угловая коррекция в рычажном механизме установкой стрелки на нуль корректором 14. Запоздывание показаний прибора составляет не более 4 с.

§ 3. Пружинные манометры

Пружинные манометры (рис. 79) относятся к наиболее распространенным приборам измерения давления. Они изготавливаются с трубчатой одновитковой и многовитковой пружинами. По классу точ-

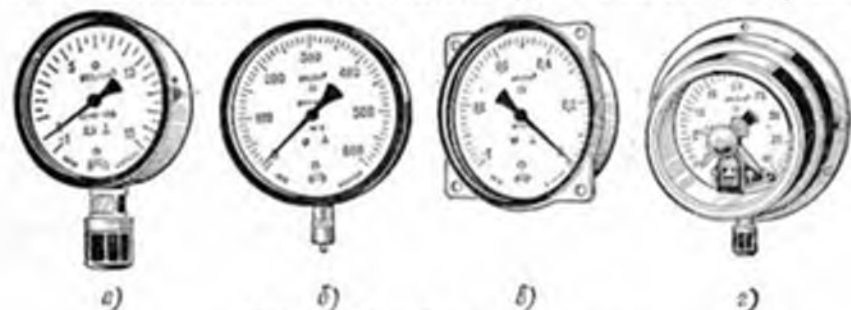


Рис. 79. Общий вид манометров:

а — типа ОЕМВ, б — типа АМУ, в — типа МОШ, г — типа ЭКМ

ности манометры подразделяются на технические, контрольные и образцовые.

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. 80, 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

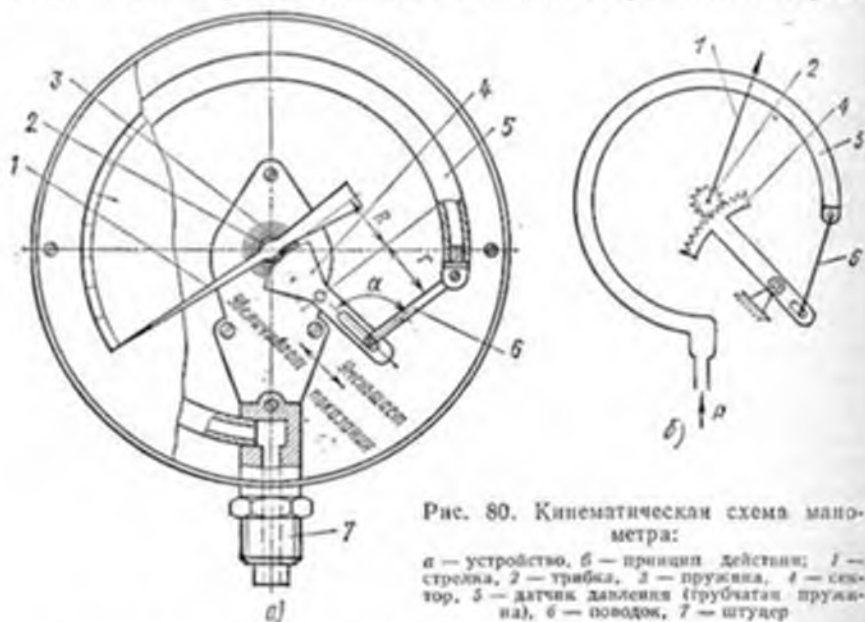


Рис. 80. Кинематическая схема манометра:

а — устройство, б — принцип действия; 1 — стрелка, 2 — шестерня, 3 — пружина, 4 — сектор, 5 — датчик давления (трубчатая пружина), 6 — поводок, 7 — штуцер

и зубчатой шестерни (шестерни) 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.

Трубчатая пружина 5 (рис. 80, 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.

Принцип действия манометра основан на уравнивании силы, возникающей под действием измеряемого давления, силой упругости чувствительного элемента прибора.

Обычно упругие деформации измерительной пружины незначительны (до 8—10%). 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 исчезнет, 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 кг/см²).

Как показывающие, так и самопишущие манометры не рекомендуются 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 $P_{\text{г}} = \gamma H$, 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: $P_{\text{м}} = P_{\text{и}} + P_{\text{г}}$, где $P_{\text{м}}$ — показания манометра, $P_{\text{и}}$ — измеряемое давление, $P_{\text{г}}$ — гидростатическое давление.

При измерении пульсирующих давлений на работающем технологическом оборудовании (компрессорах, ресиверах и др.) в штуцер манометра устанавливают специальное демпфирующее

(сглаживающее) устройство в виде малого калибровочного отверстия, диаметр которого зависит от плотности измеряемой среды: жидкости, газа или фракции и абсолютной величины измеряемого избыточного 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 стандартной 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. 81 показано сигнальное устройство электроконтактных манометров. Относительно шкалы прибора установлены два контакта задания давления A и B , выведенные на зажимы $1, 3$. С помощью специального устройства эти контакты можно перемещать относительно шкалы прибора, устанавливая требуемые задания сигнализации.

С измерительной стрелкой прибора связан подвижный контакт сигнализации C , выведенный на зажим 2 . При достижении заданного давления замыкаются соответствующие контакты $A-C$; $B-C$; 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 мановакуумметр, 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.

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. 82. Измеряемое давление через штуцер 3 и трубку 2 поступает в полость трубчатой пружины 1 . Под действием упругой

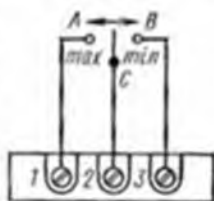


Рис. 81. Электрическое контактное устройство манометров:

1 — контакт максимального давления,
2 — общий контакт,
3 — контакт минимального давления

деформации начинается перемещение свободного конца трубки, которое через тягу 5 и кривошип передается на перо 6, записывающее величину измеряемого давления на диаграмму 4. 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.

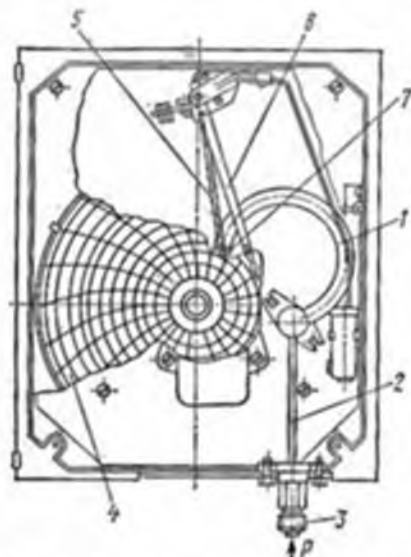


Рис. 82. Самопишущий манометр типа МТС

Наиболее распространенными типами сильфонных приборов являются самопишущие сильфонные 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. 83, а), электросиловой (рис. 83, б), частотно-силовой (рис. 83, в).

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. 83, а) заключается в следующем. В измерительном блоке 8 измеряемое давление преобразуется в усилие P , которое уравновешивается 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

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. 85) основан на пневматической силовой компенсации. Измеряемое давление P , подаваемое в сильфон 1, преобразуется на передаточном механизме (Т-образном и

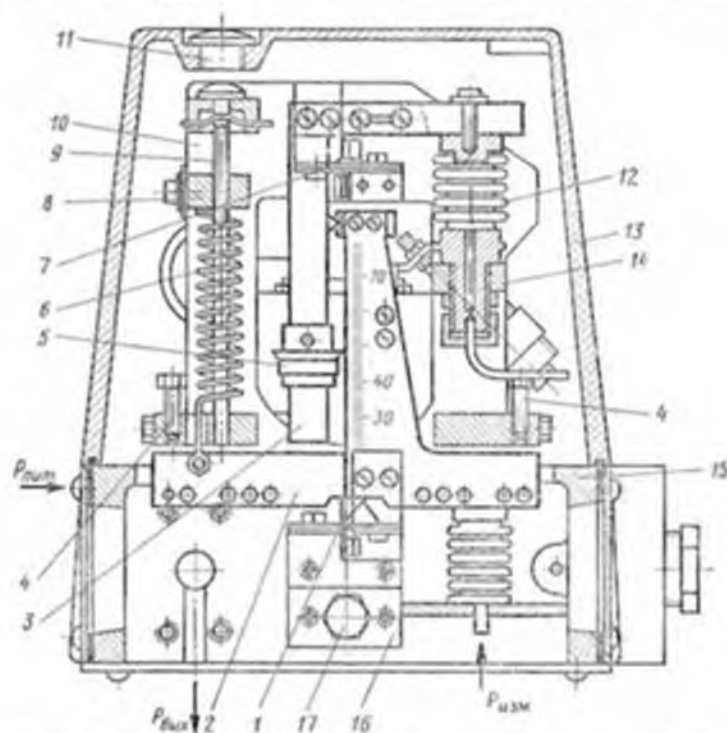


Рис. 85. Сильфонный манометр с пневмовыходом типа МС-П:

1, 7 — ленточное перекрытие, 2 — рычаг Т-образный, 3 — рычаг Г-образный, 4 — упор, 5 — опора подманная, 6 — пружина корректора нуля, 8, 14, 16 — колодки, 9 — винт корректора нуля, 10 — плата, 11 — заглушка, 12 — сильфон обратной связи, 13 — катушка, 15 — разъем, 17 — болт

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.

Давление от линии сопла 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. 86) является преобразователем давления системы ГСП.

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 с помощью 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 «0» — 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.

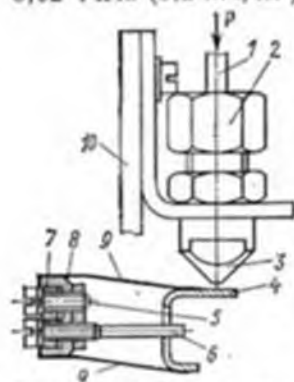


Рис. 87. Индикатор рассогласования:

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

Индикатор рассогласования (рис. 87) 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 остается 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 сильфонными.

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. 88). Он используется в системах дистанционного контроля и регулирования давления. Приборы в зависимости от модификации

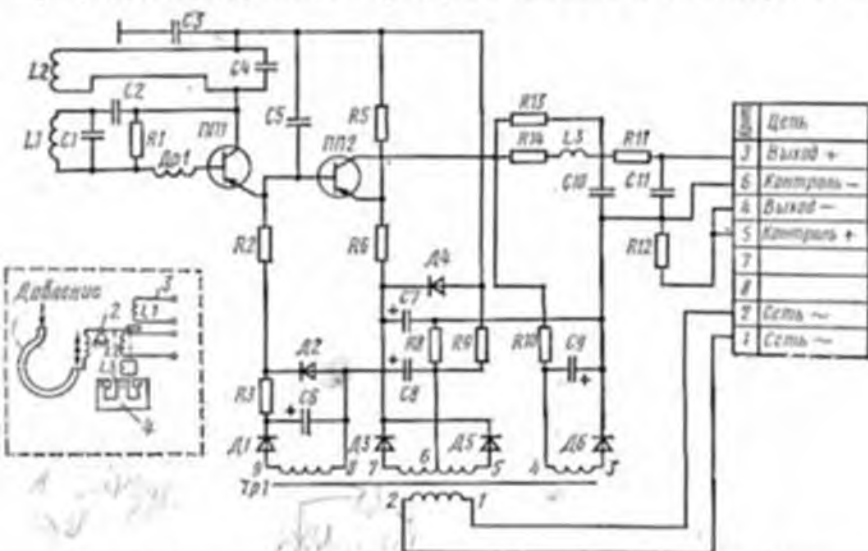


Рис. 88. Схема манометрического преобразователя давления М1М:

1 — датчик давления (трубка манометрическая), 2 — коромысловое устройство, 3 — катушка индуктивности, 4 — постоянный магнит

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.

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 (L1), входящей в контур генератора, выполненного на транзисторе ПП1. При перемещении коромысла флажок изменяет свое положение относительно катушки L1, 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 L3, которая укреплена на коромысле в поле постоянного магнита. Выходной ток транзистора ПП2, проходя через индуктивность L3, 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 L3) обеспечивается однозначное соответствие между деформацией манометрической трубки и величиной тока выхода преобразователя.

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.

Рис. 89. Устройство преобразователя типа МЭД:

1 — датчик давления (пружина манометрическая), 2 — корпус, 3 — разъем, 4 — винт, 5 — держатель, 6 — планка, 7 — катушка, 8 — сердечник, 9 — поводок, 10 — специальный винт

Упругим чувствительным элементом прибора (рис. 89) 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.