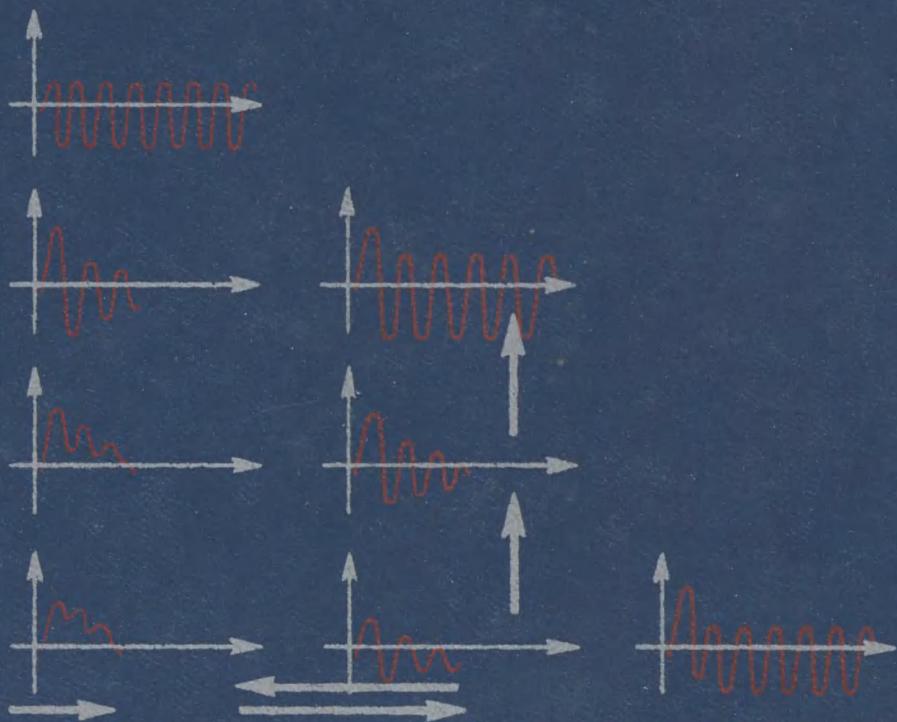


Наладка приборов и систем автоматизации

Б. З. Барласов
В. И. Ильин

Наладка приборов и систем автоматизации



ПРОФЕССИОНАЛЬНО-
ТЕХНИЧЕСКОЕ
ОБРАЗОВАНИЕ



Б. З. Барласов,
В. И. Ильин

Наладка приборов и систем автоматизации

Издание третье, переработанное
и дополненное

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

МОСКВА
«ВЫСШАЯ ШКОЛА»
1985



Scan AAW

ББК 32.965
Б24
УДК 621.3.078

Рецензент: Б. В. Глазов, инж. (Главмонтажавтоматика Минмонтаж-спецстрой СССР).

Барласов Б. З., Ильин В. И.

Б24 **Наладка приборов и систем автоматизации: Учеб.**
для сред. проф.-техн. училищ.— 3-е изд., перераб. и
доп.— М: Высш. шк., 1985.— 304 с., ил.— (Профтех-
образование).

В пер.: 85 к.

В учебнике изложены физические основы и принципы построения измерительных устройств, регуляторов и автоматических систем управления и регулирования. Описаны особенности построения и правила чтения проектных материалов по системам автоматизации, принципы организации и технология пусконаладочных работ по приборам и средствам автоматизации, методы наладки современных автоматических приборов и систем.

Б $\frac{2404000000-217}{052(01)-85}$ 38—85

ББК 32.965
6Ф6.5

ВВЕДЕНИЕ

Автоматизация производства — процесс в развитии машинного производства, при котором функции управления и контроля, ранее выполнявшиеся человеком, передаются приборам и автоматическим системам. Автоматизация производства — основа развития современной промышленности, генеральное направление технического прогресса.

Цель автоматизации производства — повышение эффективности труда, улучшение качества выпускаемой продукции, создание условий для оптимального использования всех ресурсов производства.

Коммунистическая партия и Советское правительство всегда уделяли и уделяют большое внимание развитию теоретических основ автоматизации, организационных форм для ее внедрения. На всех этапах и особенно в настоящее время перспективными планами предусматривается опережающий рост уровня производства в таких отраслях, как приборостроение, электроника и радиотехника.

Поставлена задача — ускорить внедрение автоматизированных методов и средств контроля качества и испытания продукции как составной части технологических процессов.

Приборы и средства автоматизации используются во всех отраслях народного хозяйства. Их конструкции постоянно совершенствуются.

Основоположник отечественного приборостроения М. В. Ломоносов создал температурную шкалу, основанную на тепловом расширении жидкостей. В 1752 г. М. В. Ломоносов и академик Г. В. Рихман впервые создали и ввели в практику научных исследований электроизмерительный прибор. В 1758 г. современник М. В. Ломоносова русский академик Ф. У. Эпинус открыл термоэлектрический эффект. В середине XVIII в. русский механик-самоучка И. И. Ползунов изготовил автоматический регулятор питания водой парового котла. Это был первый примененный на практике автоматический регулятор.

Основоположником теории автоматического регулирования явился русский ученый И. А. Вышнеградский, опубликовавший в 1877 г. работу «О регуляторах прямого действия». В 1909 г. большой вклад в теорию автоматического регулирования двигателей внес Н. Е. Жуковский. Велика роль в развитии техники измерений и регулирования Д. И. Менделеева, Б. С. Якоби, Г. И. Вильда, О. В. Струве, Д. Уатта, А. Стодола и многих других.

Хотя достижения отдельных русских ученых и инженеров в области измерительной техники и автоматического регулирования были значительны, но на практику производственных измерений они влияли слабо, так как в дореволюционной России не было приборостроительной промышленности. Она стала создаваться только при Советской власти на основе бурного развития индустриализации.

Советские ученые и конструкторы постоянно совершенствуют технические характеристики автоматических устройств, создают новые точные, надежные и эффективные средства автоматизации. Все большее применение во всех отраслях народного хозяйства находят управляющие вычислительные комплексы, которые позволяют быстро и с высокой точностью обрабатывать информацию о протекании технологических процессов, кон-

тролировать работу автоматических устройств и при необходимости оперативно корректировать их характеристики. Основные направления развития приборостроения определены системами Государственных стандартов: Государственной системой обеспечения единства измерения (ГСИ) и Государственной системой приборов.

Приборы и средства автоматизации должны работать бесперебойно, что особенно важно при пуске и выводе на расчетную мощность вновь строящихся и реконструируемых современных промышленных предприятий и производств. Для работы на таких предприятиях созданы пусконаладочные организации по приборам и средствам автоматизации. Наладчики осуществляют проверку приборов и средств автоматизации перед монтажом, включение их в работу, настройку на наивыгоднейший режим.

Наладочные организации вооружены передовой технологией, соответствующей уровню развития техники: лабораторно-производственными базами на объектах строительства, современной контрольной и испытательной аппаратурой, приспособлениями, специальным инструментом. Для настройки автоматических систем созданы и внедрены методы расчета их настройки, позволяющие увеличить коэффициент полезного действия оборудования, повысить его надежность и качество выпускаемой продукции.

Ежегодно в пусконаладочные организации из системы профессионально-технического образования приходят молодые рабочие, которые выбрали для себя интересную и трудную профессию слесаря-монтажника по наладке приборов и систем автоматизации. Сложность профессии требует от них глубоких и прочных знаний физики и математики, постоянного совершенствования в выполнении наладочных операций, умения ориентироваться в различных сложных технологических процессах, приборы и системы автоматизации которых им придется налаживать.

ЦК КПСС и Совет Министров СССР, уделяя большое внимание вопросам обучения и коммунистического воспитания молодежи, приняли постановление «О дальнейшем развитии системы профессионально-технического образования и повышении ее роли в подготовке квалифицированных рабочих кадров» (1984), в котором в соответствии с Основными направлениями реформы общеобразовательной и профессиональной школы предусматривается обеспечить дальнейшее развитие и совершенствование системы профессионально-технического образования как основной формы планомерной подготовки квалифицированных рабочих кадров, повышая ее роль в осуществлении перехода к всеобщему профессиональному обучению молодежи.

Третье издание учебника дополнено материалами по наладке новых типов аппаратуры. Полностью переработаны главы, касающиеся технических средств и методов наладки электрических средств регулирования, систем сигнализации, защиты и управления, систематизированы и выделены в отдельный параграф сведения о серийной аппаратуре и приспособлениях для механизации пусконаладочных работ. Из учебника исключены сведения о приборах и устройствах, снятых с производства. Несколько упрощено изложение основ автоматического управления, методов наладки автоматических систем регулирования.

Разделы второй, четвертый и глава I первого раздела написаны Б. З. Барласовым, разделы первый и третий — В. И. Ильиным.

Раздел первый

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ, РЕГУЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ

Для процессов, протекающих в природе, общественной жизни, хозяйственной деятельности человека, управление играет решающую роль. Несоответствие между производительными силами и производственными отношениями (системой управления) на протяжении всей истории человечества приводило к смене одного общественного строя другим. В сфере производства именно управление обеспечивает выполнение планов, заданий, графиков, целевых народнохозяйственных программ.

По отношению к технологическим процессам управление — совокупность действий, которая обеспечивает поддержание или улучшение протекания процесса в соответствии с установленными заданием, планом, программой. В общем случае эта совокупность включает в себя получение данных (информации) о состоянии процесса, сравнение их с установленными и воздействие при необходимости на управляемый процесс. При управлении прокатным станом заданием, как правило, является требуемая толщина прокатываемой полосы. В процессе управления производят измерения этой величины, сравнение ее с заданной и в зависимости от знака отклонения (больше, меньше) увеличивают или уменьшают давление между прокатывающими валками. Для современных станов, на которых скорость движения прокатываемой полосы может достигать нескольких десятков километров в час, оператор с его физиологическими особенностями уже не может с требуемой быстротой изменить режим прокатки, и за время, необходимое для обнаружения отклонения, принятия решения и воздействия на валки, значительное количество стали пойдет в брак.

Для повышения эффективности прокатки стан оборудуют быстродействующими устройствами, которые непрерывно измеряют толщину, скорость прокатки и другие величины, сигнализируют оператору об их отклонении, производят сравнение этих величин с заданными значениями и вырабатывают управляющие воздействия.

Совокупность управляемого процесса и управляющих устройств, в том числе и человека (оператора), действие которой обеспечивает поддержание или улучшение протекания процесса, называется системой управления. Системы, в которых эта задача решается без участия человека, называются *системами автоматического управления*.

Системы управления характеризуются структурой, которая устанавливает расположение и взаимосвязь между элементами системы. Современные системы управления создают, как правило, с несколькими степенями (уровнями) управления. Если рассматривать систему управления сталепрокатным цехом, то на первом (локальном) уровне располагаются системы управления режимами отдельных станов. На верхнем уровне целью управления будет обеспечение совместного наивыгоднейшего режима параллельной работы станов с учетом показателей и режимов работы отделения нагревательных печей, отделочного участка и вспомогательных

отделений. На этом уровне количество информации, объем вычислительной работы по расчетам режимов совместно работающих отделений и агрегатов и требования к оперативности принятия решений столь высоки что выполнить их в нужные сроки диспетчер цеха не в состоянии. Поэтому для второго уровня предусматривают управляющие вычислительные машины (компьютеры), способные выполнить в секунду несколько сот тысяч простейших арифметических операций. Такие компьютеры группируют поступающую информацию в форму, удобную для принятия решения, сами формируют варианты решений (режим советчика) или непосредственно корректируют задания управляющим устройствам локального уровня (супервизорный режим).

Системы управления технологическими процессами, в которых управляющими элементами являются автоматические устройства, управляющие вычислительные машины и человек, называются автоматизированными системами управления технологических процессов (АСУТП).

В соответствии с учебной программой в разделе рассматриваются теоретические основы автоматического контроля, регулирования и управления только устройств и систем локального уровня.

Глава I

СВЕДЕНИЯ ИЗ МЕТРОЛОГИИ И ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

§ 1. Основные понятия, определения

Основные определения и терминология, относящиеся к контрольно-измерительным приборам и системам измерений, устанавливаются стандартом ГОСТ 16263—70 «Метрология. Термины и определения».

Совокупность средств измерений и вспомогательных устройств, которые соединены между собой каналами связи, предназначенная для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для автоматической обработки, передачи и (или) использования в автоматических системах управления, называется *системой измерения*.

Например, температура, измеренная ртутным термометром, преобразуется в высоту перемещения столбика ртути в термометре расширения. Таких преобразований в системе может быть несколько. Так, в электрическом счетчике работа электрического тока преобразуется сначала в пропорциональное вращение диска, а затем в показания цифрового указателя.

Средство измерения, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования и обработки, но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателем, называется *измерительным преобразователем*. Элемент преобразователя, непосредственно соединенный с преобразуемой величиной и находящийся под ее воздействием, называется *чувствительным элементом*. Измерительный преобразователь, к которому подводится измеряемая среда (величина) и который стоит первым в измерительной цепи, называется *первичным измерительным преобразователем*. Для дистанционной передачи сигнала измерительной информации на измерительный прибор (вторичный), который вырабатывает сигнал измерительной

информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем (оператором), предназначены *передающие измерительные преобразователи*.

Для соединения первичных передающих измерительных преобразователей и вторичных приборов, устанавливаемых на центральном пункте управления, служат каналы (линии) связи.

Для обеспечения энергии средств измерения и их защиты от внешних воздействий, внутренних перегрузок и т. д. служат вспомогательные устройства системы измерения.

В зависимости от назначения и поставленных задач измерительную систему выполняют в виде цепи последовательно или параллельно соединенных преобразователей, каналов связи и измерительных приборов. Конструктивно элементы системы могут быть выполнены в виде отдельных устройств, объединены в блоке или скомпонованы в единое устройство.

На практике удобно, если измерительная информация независимо от вида измеряемых величин и их значений для дистанционной передачи и последующего воспроизведения преобразуется в единую форму (например, в пропорциональный сигнал постоянного тока). В этом случае конструкции передающих преобразователей, каналов связи и вторичных приборов могут быть унифицированы.

Измерительная информация чаще всего воспроизводится в виде положения указателя (например, стрелки или светового луча) относительно отметок шкалы прибора. Шкала представляет собой совокупность отметок и проставленных около некоторых из них чисел отсчета или других символов, соответствующих ряду последовательных значений величины. Число отсчета соответствует некоторому значению измеряемой величины или указывает порядковый номер отметки. Для каждого измерительного прибора устанавливается диапазон показаний — область значений шкалы, ограниченная начальным и конечным ее значением.

Если независимо от вида и области значений измеряемых величин начальному и конечному значениям шкалы прибора соответствует всегда один и тот же выходной сигнал передающего преобразователя, то такая система называется унифицированной.

В ряде случаев измерительная информация должна быть сохранена, для этого применяют регистрирующие измерительные приборы, которые непрерывно регистрируют на движущейся с постоянной скоростью диаграммной ленте текущее значение величины. Приборы, которые одновременно регистрируют несколько измеряемых величин, называются многоточечными. Измерительная информация в регистрирующих приборах представляется в виде непрерывных кривых (у самопишущих приборов) или в виде цифровых индексов, которые печатаются на диаграммной ленте с заданным интервалом (печатающий прибор).

По исполнению измерительные преобразователи, приборы и устройства подразделяют на следующие группы: обыкновенные, пылезащищенные, взрывозащищенные, герметические, водозащищенные, защищенные от агрессивной среды.

По защите от воздействия температуры и влажности стандартами предусмотрено подразделение конструкций устройств на четыре группы. Например, приборы и устройства первой группы могут работать в интер-

вале температур от 223 ($-50\text{ }^{\circ}\text{C}$) до 323 К ($50\text{ }^{\circ}\text{C}$) и относительной влажности не больше $25\% \pm 3\%$, а третьей — в интервале температур 278—323 К и при относительной влажности не более 80 %.

По защите от механических воздействий различают обыкновенное и виброустойчивое исполнение

В процессе исследования, на производстве и в быту пользуются физическими величинами (длина, масса, время и др.). Чтобы пользоваться этими физическими величинами, необходимо определять их количественные оценки. Физическая величина оценивается некоторым числом принятых для нее единиц. Например, 12 кг — значение массы тела. При наличии числовых значений физических величин имеется возможность для их сравнения и проведения различных математических операций. Получить же числовое значение величины можно только в процессе выполнения измерения. *Измерение* — это нахождение числового значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств.

Для сравнения числовых значений физические величины должны быть выражены в определенных единицах, принятых для данной величины, и, кроме того, должна быть известна точность, с которой получено значение величины. Действительно, достаточно трудно сопоставить скорости движения человека, выраженные в шагах в 1 мин, так как длина шага не является общепринятой единицей и индивидуальна для каждого человека.

Измерение всегда предусматривает проведение физического эксперимента, для которого необходимо наличие средств измерений и метода или способа измерения. Процесс измерения охватывает следующие основные элементы: измеряемые величины, условия измерений, технические средства измерений, методы измерений, наблюдателя или регистрирующее устройство, результат измерений, единицы физических величин.

Измеряемые величины разделяют на непрерывные (аналоговые) и прерывистые (дискретные). *Непрерывные* физические величины характеризуются тем, что в заданном диапазоне изменения они могут иметь бесконечное множество числовых значений. Примером непрерывной величины является сила тока, измеряемая стрелочным прибором. *Дискретные* величины характеризуются конечным числом возможных принимаемых значений (уровней). Примером прерывистой величины может быть последовательность импульсов и пауз, которой определяется команда в устройствах телемеханики.

Характер изменения величин во многом определяет выбор средств измерения и их характеристики. Для этого до начала измерения должен быть известен, например, порядок числового значения измеряемой величины. Например, для измерения температуры тела человека выбирают ртутный термометр, а температуры расплавленной стали — термопару в комплекте с пирометрическим милливольтметром или потенциометром.

Условия измерений — это состояние объекта, одно из свойств которого изучается. Они влияют (искажают) на результат измерений, т. е. на правильность определения значения физической величины. Если измерить сопротивление медного провода, находящегося в различных температурных зонах, то результат измерения (сопротивление) будет различным, так как сопротивление медного провода зависит от его температуры. На результат измерения температуры с помощью термопары будут влиять

электромагнитные поля, существующие в зоне ее установки. Результаты измерения тока в цепи с помощью амперметра будут зависеть от внутреннего сопротивления последнего. Как правило, средства измерения выбирают с учетом того, чтобы при взаимодействии их с измеряемой средой не изменялись ее свойства.

Условия измерения (в лаборатории, на производстве, в быту) резко различны и во многом определяют выбор технических средств и метода измерений.

Технические средства (преобразователи, вторичные приборы), используемые для измерения, называются средствами измерений. Одни и те же средства измерений могут быть использованы для определения различных величин. Например, вольтметр в зависимости от типа преобразователя, в комплекте с которым его применяют, может измерять напряжение, температуру, состав газа и т. п.

Метод измерений — это совокупность приемов использования, принципов и средств измерений.

Наблюдатель играет большую роль в процессе измерения. Информация об измеряемой величине, воздействующая на зрение и слух человека, может быть считана с показаний стрелочного прибора, с диаграммной ленты регистратора или телетайпа. Необходимо учитывать физические возможности наблюдателя и его состояние, так как эти факторы влияют на точность получаемых при измерении результатов.

Результат измерения физической величины — это числовое значение величины, найденное путем ее измерения. Отличие результата измерения от истинного значения определяется принципом действия и конструкцией аппаратуры, совершенством методов измерений и т. д. Точность отсчета по шкале прибора или диаграмме имеет конечную величину, определяемую их размерами.

В процессе развития науки и техники средства и методы измерений совершенствуются и их быстродействие и точность повышаются. Примером может служить появление в последнее время приборов с цифровой индикацией значения измеряемой величины, в которых точность отсчета не зависит от положения или состояния наблюдателя.

На практике результат измерения определяют как действительное значение измеряемой величины. Под действительным значением понимается значение физической величины, определенное экспериментально, которое может быть принято за истинное для данной конкретной цели. Так, например, при оценке результата измерения состава газа автоматическим газоанализатором за истинное значение принимается действительное значение концентрации, измеренное по лабораторному газоанализатору. Результат измерения может быть принят за действительное значение лишь в том случае, если известно, с какой точностью (или погрешностью) проведено измерение.

Единицы физических величин. К классу физических величин относят свойства физических объектов (механизмов, аппаратов), которые являются общими для этих объектов в качественном отношении. К таким величинам относятся, например, масса объектов, их температура, скорость, давление, сила и т. п. Для того чтобы определить индивидуальные свойства объектов, необходимо дать количественную оценку этих

общих свойств, т. е. определить числовое значение физической величины.

Значение физической величины выражают числом, которое показывает соотношение между измеренным значением и значением физической величины, принятым за единицу.

История развития единиц физических величин тесно связана с развитием науки и техники и общественных отношений. Первобытнообщинный строй, рабовладельческий и феодальный имели сравнительно низкий уровень развития производительных сил, хозяйство строилось на натуральном принципе. В этих условиях системы единиц создавались в каждом городе, селе и существовали независимо друг от друга. С приходом капитализма, характеризующегося развитыми производительными силами, общественным разделением труда, такое положение с единицами физических сил стало неприемлемым.

В течение XIX в. вопросы разработки систем единиц физических величин находились в центре внимания выдающихся ученых всего мира. Были созданы эталоны единиц массы и длины, метрическая система мер, разработана система единиц СГС, еще до сих пор применяемая при научных исследованиях. В 1875 г. на международной конференции 17 стран с участием России была подписана международная Метрическая конвенция, по которой утверждались международные прототипы метра и километра и были созданы международные метрологические органы, одной из основных задач которых было создание и развитие системы единиц.

Созданные системы единиц строятся по единому принципу. Сначала выбирают несколько независимых физических величин и устанавливают для них единицы. Эти единицы называют *основными*. Выбор их производят таким образом, чтобы с помощью математических зависимостей (уравнений) можно было бы образовать единицы других величин. Единицы, выраженные через основные, называются *производными*, а совокупность основных и производных единиц — *системой единиц*.

К системам единиц предъявляется ряд требований, которым они должны удовлетворять:

- охват возможно большего числа отраслей науки и техники;
- удобство практического применения и простота;
- отсутствие громоздких пересчетных коэффициентов.

Всем этим требованиям отвечает Международная система единиц (СИ), которая была принята в 1960 г. на Генеральной конференции по мерам и весам. В СССР СИ была введена как предпочтительная с 1963 г.

За основные единицы в СИ приняты: метр (м) — длина, килограмм (кг) — масса, секунда (с) — время, ампер (А) — сила электрического тока, кельвин (К) — термодинамическая температура, канделла (кд) — сила света и моль (моль) — количество вещества.

В связи с тем что большинство основных единиц СИ базируется на атомно-молекулярных константах, их воспроизведение может быть выполнено с более высокой точностью, чем, например, в системах МКС, СГС и др.

Рассмотрим примеры образования производных единиц СИ для некоторых физических величин, наиболее употребительных в системах автоматизации технологических процессов. В качестве единиц площади и объема на основании известных уравнений $S=L^2$ и $V=L^3$ получаем единицу пло-

щади — квадратный метр (м^2) и единицу объема — кубический метр (м^3). Ускорение (a), связанное с расстоянием (L) и временем (T), выражено соотношением $a = LT^{-2}$ и в СИ будет иметь единицу измерения $\text{м}/\text{с}^2$ (метр в секунду за секунду).

Единицу силы F получают из соотношения $F = ma = 1 \text{ кг} \cdot 1 \text{ мс}^{-2}$. Эта единица называется ньютон.

Для давления p в СИ получаем единицу из уравнения $p = F/S = L^{-1} \cdot M \cdot T^{-2}$ ($\text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{м}^{-1}$). Эта единица, численно равная давлению, которое развивает сила в 1 Н на площади в 1 м^2 , называется паскалем (Па).

Для удобства вычислений в СИ предусматривается простое образование кратных и дольных единиц. Кратные и дольные единицы образуются от основных и производных путем умножения их значений на целые степени числа 10. Именуются кратные и дольные единицы путем прибавления приставки к наименованию единицы. Стандартные приставки имеют следующие обозначения (табл. 1).

Например, вместо 5000 Ом удобно записать значение сопротивления 5 кОм, вместо давления 980 600 Па — 0,98 МПа и т. п.

Связь между производными и основными единицами СИ выражается с помощью размерности. Размерность производных величин записывается в виде дроби ($\text{кг}/\text{с}^2 \cdot \text{м}$) или с применением отрицательных степеней ($\text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{м}^{-1}$). При практических расчетах размерность полученного результата вычисления значения физической величины позволяет проконтролировать правильность решения задачи.

Наряду с единицами СИ в технике допущены к применению внесистемные единицы, имеющие большое практическое распространение.

Т а б л и ц а 1. Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц

Множитель, на который умножается единица	Приставка	Обозначение		Множитель, на который умножается единица	Приставка	Обозначение	
		русское	международное			русское	международное
10^{12}	тера	Т	<i>T</i>	10^{-3}	милли	м	<i>m</i>
10^9	гига	Г	<i>G</i>	10^{-6}	микро	мк	<i>μ</i>
10^6	мега	М	<i>M</i>	10^{-9}	нано	н	<i>n</i>
10^3	кило	к	<i>k</i>	10^{-12}	пико	п	<i>p</i>

К таким единицам относятся: единица массы — тонна, единица площади — гектар, единица температуры — градус Цельсия. Большое распространение имеет единица веса и силы — 1 килограмм-сила (кгс), давления — 1 кгс/см², плотности — 1 г/л и т. п.

Наиболее распространенные внесистемные единицы и их связь с единицами системы СИ приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2. Соотношение между внесистемными единицами и единицами СИ

Физическая	Наименование единицы	Обозначение	Значение в единицах СИ
Сила, вес Давление	Килограмм-сила	кгс	9,81 Н
	Миллиметр водяного столба	мм вод. ст.	9,81 Па
	Миллиметр ртутного столба	мм рт. ст.	133,3 Па
Энергия	Килограмм-сила на квадратный сантиметр	кгс/см ²	9,81 · 10 ⁴ Па
	Килограмм-сила на квадратный метр	кгс/м ²	9,81 Па
	Килограмм-сила на метр	кгс/м	9,81 Дж
	Калория	кал	4,19 Дж
Мощность	Киловатт-час	кВт · ч	3 · 6 · 10 ⁶ Дж
	Лошадиная сила	л. с.	736 Вт

Пользуясь таблицей, легко перевести, например, давление, равное 730 мм рт. ст., в единицы СИ: $p = 730 \cdot 133,3 = 97\,309 \text{ Па} \approx 0,097 \text{ МПа}$.

В дальнейшем в учебнике для характеристики температуры будут приняты внесистемные единицы °С. Это вызвано тем обстоятельством, что образцовые средства измерения, находящиеся в обращении, имеют шкалы, отградуированные в этих единицах, и отечественная приборостроительная промышленность пока не выпускает термометров, отградуированных в кельвинах.

§ 2. Погрешности измерений

Погрешностью измерительного прибора называют отклонение его показаний от действительного значения измеряемой величины, определенного с известной более высокой точностью (ГОСТ 16263—70).

Для каждого средства измерения стандартами, техническими условиями и другими нормативными материалами устанавливаются нормальные условия применения, т. е. такие, при которых влияющие величины имеют нормальные значения или находятся в пределах нормальных значений. К таким влияющим величинам относятся температура и влажность окружающего воздуха, допустимые значения напряженности электрических и магнитных полей, колебания частоты и напряжения электропитания и т. п.

Погрешность средства измерения, используемого в нормальных условиях, называется основной. Дополнительная погрешность вызывается отклонением одной из влияющих величин от нормального значения или выходом за пределы нормальной области значений.

Погрешности выражаются в виде абсолютных и относительных величин. *Абсолютная погрешность* средства измерения — разность между показанием прибора и истинным (действительным) значением измеряемой величины. Абсолютная погрешность $\Delta x = x_n - x$, где x_n — показания прибора; x — истинное (действительное) значение измеряемой величины.

Абсолютная погрешность выражается именованным числом и имеет размерность измеряемой величины. Для практического применения в каче-

стве меры точности прибора абсолютные погрешности неудобны. Действительно, если температура стали в мартеновской печи определяется с абсолютной погрешностью 5°C , то эта точность может считаться идеальной. Определение с этой же точностью температуры воздуха в овощехранилище нельзя считать приемлемым.

Более сравнимые результаты при оценке погрешностей измерений дает использование *относительной погрешности* меры (измерительного прибора) $\gamma_{\text{отн}} = (\Delta x/x) \cdot 100\%$.

Для оценки точности измерительных приборов широкое распространение получила *приведенная погрешность* $\gamma = [\Delta x/(x_k - x_n)] \cdot 100\%$, где x_k и x_n — наибольшее и наименьшее значения измеряемой величины, определяемые для прибора.

Требования к точности средств измерений обусловлены целями и задачами, для решения которых осуществляются измерения. Одновременно повышение точности (уменьшение погрешности) средства измерения, как правило, связано с усложнением его конструкции и увеличением стоимости. Для оценки точности работы средств измерения, предназначенных для различных целей, в СССР установлены так называемые классы точности измерительной аппаратуры.

Классом точности средства измерения называют его обобщенную характеристику, определяемую пределами допускаемых основных и дополнительных погрешностей, а также другими свойствами средств измерений, влияющими на точность, значения которых устанавливаются стандартами на отдельные виды средств измерений.

Для технических средств измерений установлен следующий ряд классов точности: 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0. Если температуру измеряют термометром с пределом измерений $0-100^{\circ}\text{C}$ ($x_k - x_n$) и классом точности 2,5, то абсолютная погрешность измерений на любой точке не должна превышать $2,5^{\circ}\text{C}$. Эта величина называется *пределом допускаемой погрешности*. Если погрешности определяют при нормальных условиях, то речь идет о пределе допускаемой основной погрешности.

Разность $x_k - x_n$ называется нормирующим значением $x_{\text{нр}}$. В тех случаях, когда нулевое значение физической величины находится на краю диапазона измерения, как в рассмотренном примере, $x_{\text{нр}} = x_k$, если нулевое значение измеряемой величины находится внутри диапазона измерений, то $x_{\text{нр}}$ будет равен сумме абсолютных значений верхнего и нижнего пределов измерений. Например, для термометра, измеряющего температуру наружного воздуха в пределах от минус 30 до плюс 50°C , $x_{\text{нр}} = |-30| + |50| = 80^{\circ}\text{C}$.

Класс точности устройства указывают в его аттестате и, как правило, на корпусе или на шкале измерительного прибора. Изображение класса точности (0,5) означает, что предел допускаемой основной погрешности выражен в процентах от измеряемой величины, в единицах которой градуирована шкала, и равен $\pm 0,5\%$. Например, такое изображение характерно для амперметров, вольтметров и других электроизмерительных приборов. Изображение 0,5 показывает, что предел допускаемой основной погрешности выражен в процентах от нормирующего значения физической величины, на которую реагирует устройство. Такое обозначение может

быть на шкале спидометра автомобиля, так как несмотря на то что его шкала отградуирована в километрах, на деле он представляет собой счетчик числа оборотов колеса.

Часто класс точности изображают дробью, например 0,5/0,2. Такое изображение означает, что предел допускаемой основной погрешности

$$\delta = \pm \left[c + d \left(\frac{x_k}{x_n} - 1 \right) \right],$$

где δ — предел допускаемой погрешности; x_k — конечное значение диапазона измерения; x_n — показания прибора; c и d — постоянные числа, равные соответственно 0,5 и 0,2. Для термометра с диапазоном измерения 0—100 °С при указанном способе выражения предел допускаемой основной погрешности для температуры 40 °С

$$\delta = \pm \left[0,5 + 0,2 \left(\frac{100}{40} - 1 \right) \right] = \pm 0,8.$$

Изображение класса точности $\sqrt[0,5]{}$ означает, что предел допускаемой погрешности устройства выражается в процентах нормирующего значения, обусловленного линейными размерами шкалы; такое обозначение характерно для линейек, штангенциркулей и т. п.

Возникновение погрешности измерения может быть обусловлено конструктивными недостатками измерительных приборов, несовершенством методов измерений, неправильной установкой прибора, а также ошибками отсчета, зависящими от вида отсчетного устройства и особенностей наблюдающего.

Погрешность измерения проявляется в двух видах — систематической и случайной. Для *систематической погрешности* характерна повторяемость при повторении экспериментов или известная ее зависимость от значения измеряемой величины, условий измерений, наблюдателя. Для *случайных погрешностей* характерно отсутствие повторяемости и выявленных функциональных зависимостей. Как правило, по мере развития науки и техники подобных невыявленных зависимостей становится все меньше и все большая часть случайных погрешностей переводится в ряд систематических.

По характеру проявления систематические погрешности разделяются на постоянные и временные. К постоянным систематическим погрешностям относятся погрешности, вызванные неточностью градуировки прибора, дефектами отдельных его деталей, смещением указателя относительно шкалы прибора. Временные погрешности вызываются колебаниями частоты и напряжения питания, изменением условий измерений и т. п.

Систематические погрешности уменьшают путем стабилизации условий измерений, например путем термостатирования или теплоизоляции аппаратуры, экранированием или заземлением. К систематическим погрешностям относится также и вариация средств измерений, которая проявляется в разнице показаний прибора при повторных измерениях в одинаковых условиях действительного значения постоянной величины, но при перемене направления подхода к действительному значению. Например, показания пружинных весов для массы 1 кг проверяют двумя способами:

первый — весы нагружают массой 1 кг (рис. 1, а), второй — нагруженные весы разгружают так, чтобы на них осталась гиря массой 1 кг (рис. 1, б). При нагрузке весов пружина 1 сжимается и стрелочный указатель 3 перемещается к середине шкалы. При перемещении указателя в сочленениях 2 возникает сила трения $F_{тр}$, направленная против воздействия массы, и указатель показывает массу, несколько меньшую установленной (занижение показаний). При разгрузке весов сила трения $F'_{тр}$ приведет к завышению показаний. Вариацию пружинных весов в точке шкалы, соответствующей массе 1 кг, определяют как разность показаний при первом и втором способах проверки. Вариация $B = [(x_n - x_o) / (x_k - x_n)] \cdot 100\%$, где x_n и x_o — измеренные прибором действительные значения величины при подходе к нему в прямом и обратном направлениях. Причиной вариации чаще всего является наличие сухого трения в движущихся частях кинематической схемы прибора.

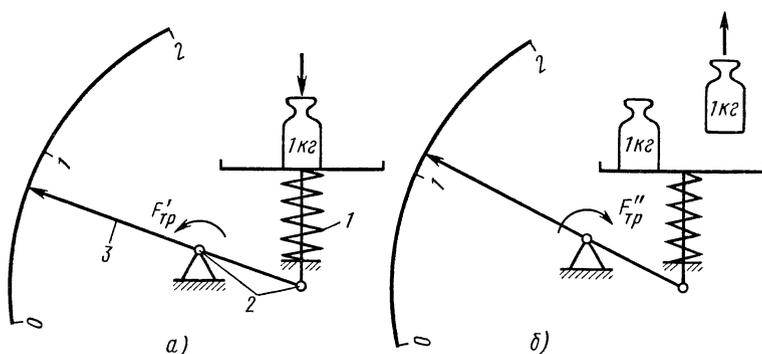


Рис. 1. Пример определения вариации при нагрузке (а) и разгрузке (б) прибора:
1 — пружина, 2 — сочленение, 3 — стрелочный указатель

Основным средством учета систематических погрешностей являются периодическая проверка средств измерений и выявление поправок к результатам измерений.

§ 3. Метрологический контроль в СССР

Для успешного выполнения задач по дальнейшему развитию науки и внедрению мероприятий технического прогресса в производство необходимо поддержание единства измерений, обеспечивающую высокую точность и сопоставимость результатов измерений. В нашей стране поддержание единства измерений во всех областях возложено на метрологическую службу Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР. Метрологическая служба включает в себя научно-исследовательские метрологические институты и территориальные лаборатории Государственного надзора за состоянием измерительной техники.

Задачами научно-исследовательских метрологических институтов являются разработка, создание и хранение государственных эталонов единиц, разработка новых и повышение точности существующих методов измерений, осуществление международных связей с метрологическими зарубежными организациями.

Научно-исследовательские институты должны осуществлять контроль за испытаниями средств измерения, предназначенных для серийного производства или ввозимых из-за границы. Порядок проведения испытаний определяется ГОСТ 8.001—80 и распространяется на меры и измерительные приборы, преобразователи, измерительные установки, стенды и т. п.

Система метрологического надзора за средствами измерений установлена согласно ГОСТ 8.002—71 «Организация и порядок проведения проверки, ревизии и экспертизы средств измерений». ГОСТ предусматривает проверку средств измерений, метрологическую ревизию и метрологическую экспертизу.

Проверкой называют совокупность проверок, выявляющих соответствие прибора всем техническим требованиям в целом, предъявляемым к данному прибору.

При проверке устанавливают соответствие средств измерений нормативным требованиям, которые сформулированы в соответствующих стандартах. Средства измерения подвергают первичной, периодической, внеочередной и инспекционной проверкам. Сроки периодической проверки в зависимости от конструкции, назначения и эксплуатационных особенностей средств измерений определены стандартами.

Внеочередной проверке подвергают средства измерений, если необходимо проверить их исправность, и аппаратуру с поврежденными клеймами, пломбами или при утрате технической документации. ГОСТ также рекомендует проводить внеочередную проверку новых средств измерения перед вводом их в эксплуатацию, а также поступивших со склада или после ремонта.

Инспекционной проверкой определяют соответствие стандартным характеристикам средств измерения, выпускаемых из ремонта, производства, при проведении метрологической ревизии на складах, базах снабжения и торговых предприятиях.

Задача *метрологической ревизии* — установить соответствие средств измерения и применяемых методов измерений современным требованиям народного хозяйства, а также проверить готовность средств измерений к выполнению измерений с нормированной точностью.

Метрологическую экспертизу проводят при возникновении спорных вопросов по метрологическим свойствам, методам и средствам проверки, исправности средств измерений и пригодности их к применению.

Помимо государственной метрологической службы метрологические надзор в отраслях народного хозяйства осуществляют метрологические службы, в которые входят отраслевые базовые организации и службы отдельных предприятий. Предприятия, осуществляющие изготовление, ремонт или эксплуатацию средств измерений, для получения права проведения поверочных работ должны быть зарегистрированы в органах государственной метрологической службы, которая выдает удостоверение на право проведения проверки при наличии на предприятии соответствующих

образцовых приборов, мер, вспомогательных устройств, а также квалифицированных специалистов — метрологов, сдавших в установленном порядке экзамены в государственной метрологической службе. При обнаружении нарушений в работе ведомственные метрологические организации могут быть лишены права проведения поверочных работ.

Поверка технических средств измерений производится по образцовым приборам. Образцовые приборы являются по точности промежуточными между мерами и эталонами и техническими приборами. При поверке средств измерений следует иметь в виду, что класс точности образцового прибора должен быть выше класса точности поверяемого

Глава II

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

§ 4. Системы управления

Системы управления. Примером аппарата, которым необходимо управлять, может служить котельная установка, предназначенная для выработки пара в отопительную систему. Образующиеся при сжигании топлива горячие газы обтекают систему труб, по которым течет вода. При нагревании вода в котле испаряется и поступает в виде пара в отопительную систему. Выработываемый пар имеет следующие характеристики: температуру, давление и расход. С изменением погодных условий для обеспечения постоянной температуры в помещении изменяют температуру и расход пара в отопительной системе. Это изменение характеристик пара осуществляют путем изменения подачи топлива (расхода).

С увеличением расхода топлива увеличиваются температура в топочном пространстве, температура воды, интенсивность образования и температура пара. При увеличении интенсивности парообразования необходимо увеличивать подачу воды. Таким образом, с изменением температуры наружного воздуха изменяют характеристики всей котельной установки так, чтобы температура в отапливаемом помещении оставалась постоянной. Последовательность операций управления, которые осуществляет человек, управляющий котельной установкой, называется *алгоритмом управления*.

Котельная установка является управляемым объектом. *Управляемый объект* — машина, аппарат или другое оборудование, осуществляющее технологический процесс (например, процесс выработки пара), — характеризуется присущим ему алгоритмом управления, который обеспечивает нормальное функционирование процесса.

Для управления технологическим объектом человеку нужно знать его технические характеристики, определяемые физическими величинами (например, температурой, давлением).

Современные предприятия химической, металлургической, нефтеперерабатывающей и других отраслей промышленности оснащены десятками и даже сотнями систем контроля. Реализация алгоритма управления при таком количестве информации становится не под силу человеку. Поэтому

функции управления передаются специальным устройствам и приборам, осуществляющим управление без непосредственного участия человека, — *автоматическим управляющим устройствам*. Управление, осуществляемое с помощью автоматических устройств, которые реализуют алгоритм управления без непосредственного участия человека, называется *автоматическим управлением*.

Автоматическое управляющее устройство, воспринимая сигнал от измерительной системы, автоматически изменяет характеристики объекта. Например, в котельной установке автоматические устройства, принимая сигнал от системы измерения температуры пара, без участия человека изменяют расход топлива.

Совокупность управляемого объекта и автоматического управляющего устройства, взаимодействующих между собой, называется *автоматической системой управления*.

Технологический процесс. Технологическим процессом называется последовательность операций, которые необходимо выполнить, чтобы из исходного сырья получить готовый продукт. По принципу организации работ технологические процессы подразделяются на три основных вида: дискретные, непрерывные и периодического действия.

К *дискретным* технологическим процессам принято относить производства, выпускающие, например, штучную продукцию, такие заводы, как приборостроительные, машиностроительные и др.

Непрерывные технологические процессы, как правило, характеризуются тем, что сырье и готовый продукт находятся в жидком, газообразном или сыпучем состоянии. Поэтому транспортировка сырья и продукта на всех стадиях его получения осуществляется непрерывно. Наиболее характерным производством с непрерывным технологическим процессом является химический комбинат, где в специальных аппаратах перерабатывается природный газ, который от начала и до конца технологического процесса перемещается непрерывно.

К технологическим процессам *периодического действия* относятся, например, котлы периодической варки целлюлозы. Такие котлы представляют собой большие емкости, в которые загружают сырье. Затем котел герметически закрывают и по строго заданной программе поднимают в нем температуру подачи пара. Варка длится несколько часов, после чего из котла выпускается готовый продукт.

В настоящем учебнике рассматриваются системы контроля и автоматизации предприятий с непрерывными и периодическими технологическими процессами.

Классификация и задачи систем автоматизации. Автоматическое управление технологическими процессами — техническая дисциплина одного из разделов молодой науки, зародившейся в начале нашего века, — кибернетики. Кибернетика — наука об общих закономерностях процессов управления в машинах, живых организмах и их объединениях. *Техническая кибернетика* рассматривает методы разработки и создания систем управления только техническими и технологическими объектами.

Автоматическое управление технологическими процессами является частью технической кибернетики и охватывает все проблемы, связанные с

контролем технологического процесса, его защитой от аварийных режимов, сигнализацией отклонений от номинальных режимов и автоматическим регулированием основных технологических характеристик и параметров (температуры, давления, уровня, расхода, состава газа и т. д.). Кроме того, в системах автоматизации промышленных предприятий предусматривается дистанционное (ручное) управление, т. е. управление технологическим процессом, осуществляемое оператором со щита управления. Дистанционное управление необходимо для пуска и останова аппаратов технологического процесса, а также на случай отказа автоматических систем.

Все автоматические системы промышленных предприятий можно разделить на автоматические системы замкнутые и разомкнутые (рис. 2). *Замкнутой* автоматической системой называется совокупность элементов управляющего устройства (УУ) и элементов управляемого объекта (УО), образующая замкнутую цепь: прямое воздействие УО → УУ и обратное воздействие УУ → УО.

В разомкнутых системах отсутствует обратное воздействие. К *разомкнутым* относятся: автоматическое измерение технологических параметров, дистанционное управление характеристиками объекта и система автоматической защиты оборудования от аварийных режимов.

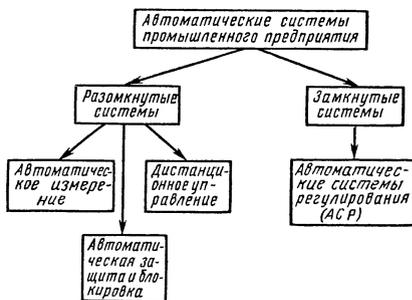


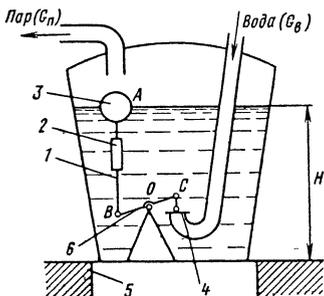
Рис. 2. Классификация систем автоматизации промышленных предприятий

К замкнутым автоматическим системам относятся автоматические системы регулирования параметров технологического процесса. Автоматическая система регулирования — разновидность автоматических систем управления — представляет собой замкнутую цепь (объект — автоматическое управляющее устройство — объект), в которой управляющее воздействие на объект вырабатывается в результате сравнения действительного значения управляемой величины с заданным значением.

Для замкнутых автоматических систем недостаточно настроить каждый прибор в отдельности и согласовать их характеристики, необходимо, чтобы характеристики всей управляющей системы соответствовали характеристикам управляемого объекта. При изменении характеристик объекта должны меняться и характеристики управляющей системы. Настройка замкнутых систем автоматического управления на соответствие их характеристикам управляемого объекта требует высокой квалификации наладчиков: знания общих законов функционирования системы в целом, которые являются общими для всех замкнутых систем независимо от конструкции, назначения и способа их реализации, т. е. независимо от того, на каких элементах собрана эта система — электромеханических, электронных, пневматических или гидравлических.

§ 5. Регуляторы прямого (примеры автоматической системы регулирования) и непрямого действия

Регулятор прямого действия. Первый автоматический регулятор был изобретен при конструировании паровой машины в 1765 г. И. И. Ползуновым (рис. 3) для поддержания постоянного уровня воды в паровом котле без участия человека.



Чувствительным элементом, измеряющим уровень воды в котле, является поплавок 3 — металлический пустотелый шар, плавающий на поверхности воды. Системой рычагов 1 и 6 поплавок соединяется с клапаном 4, изменяющим подачу воды в котел. С увеличением количества потребляемого

Рис. 3. Автоматический регулятор Ползунова:

1, 6 — рычаги, 2 — гайка, 3 — поплавок, 4 — клапан, 5 — топка

машиной пара G_n давление на поверхность воды уменьшается. При меньшем давлении интенсивнее испаряется вода, и поэтому уровень ее H уменьшается. Поплавок, опускаясь, через систему рычагов и шарниров приоткрывает клапан, увеличивая приток воды и тем самым восстанавливая ее уровень. С восстановлением уровня воды поплавок, поднимаясь, прикрывает клапан и тем самым автоматически устанавливает расход воды, точно соответствующий новому значению расхода пара.

Изменение расхода пара, вызванное изменением нагрузки паровой машины, называется *возмущением* (или *воздействием*). Возмущение может приходить и со стороны топки, и со стороны питательной воды. Так, изменение температуры в топке или напора воды перед клапаном вызовет изменение уровня, но во всех случаях в результате действия автоматического устройства значение уровня будет восстановлено.

Внешним воздействием (или *внешним возмущением*) называется воздействие на автоматическую систему управления внешней среды, не являющейся частью этой автоматической системы (например, воздействие нагрузки или напора воды). *Внутренним воздействием* (или *внутренним возмущением*) называется воздействие одной части автоматической системы управления на другую (например, изменение длины рычага 1 изменяет положение клапана).

Конструкцией регулятора предусмотрена возможность изменения заданного значения регулируемого параметра, например значения уровня, т. е. изменения задания. Для этого достаточно в данном регуляторе изменить длину рычага 1 с помощью винта и гайки 2. С увеличением длины рычага увеличится степень открытия клапана и, следовательно, приток воды в котел. С увеличением притока воды уровень увеличится.

Заданным (предписанным) значением регулируемой величины называется значение регулируемой величины, предписанное алгоритмом управления.

Следует обратить внимание еще на одну особенность конструкции

рассмотренного устройства, которая присуща регуляторам. Если изменить соотношение длины плеч BO и OC рычага b , т. е. перенести точку опоры рычага, то изменится степень открытия клапана на каждый миллиметр перемещения поплавка. Чем больше плечо OC (и меньше BO), тем больше открытие клапана при том же перемещении поплавка и тем быстрее прекратится изменение уровня.

Вся система регулирования состоит из трех основных элементов: первичного измерительного преобразователя, регулирующего органа и объекта регулирования.

Участок котла от клапана до уровня воды называется *каналом регулирования*. Если три основных элемента системы условно обозначить прямоугольниками, а связь между ними — стрелками, то можно построить функциональную схему (блок-схему) системы регулирования (рис. 4). *Функциональной схем*

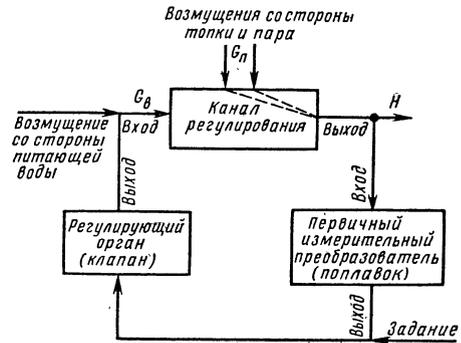


Рис. 4. Функциональная схема регулятора прямого действия

мой называется графическое изображение совокупности функциональных блоков и связей между ними, образующих автоматическую систему.

Направление стрелок соответствует направлению воздействия одного функционального блока на другой. Над стрелками пишут обозначение технологических параметров — расхода G_v и уровня воды H . Стрелки, входящие в элементы системы, называются *входами*, а параметры, которые они отражают, — *входными*; стрелки, выходящие из элементов, — *выходами*, а параметры — *выходными*.

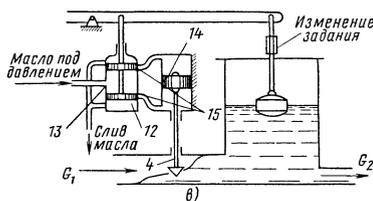
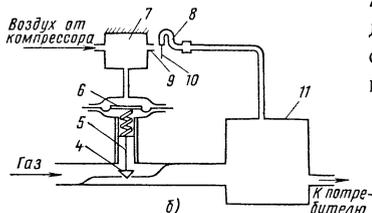
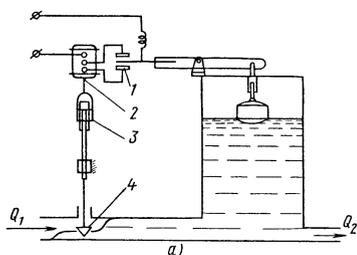
Входом функционального блока называются цепи, на которые подается воздействие извне (по отношению к данному блоку); выходом — цепи, которые непосредственно воздействуют во вне (по отношению к данному блоку). Так, выход канала регулирования H одновременно является входом первичного измерительного преобразователя (поплавка). Выход регулирующего органа (клапана) называется *регулирующим воздействием*, выход канала регулирования — *регулируемым параметром*. Вся схема в целом отражает структуру взаимодействия элементов системы и называется функциональной схемой.

Отличительной особенностью регулятора Ползунова является то, что для перемещения регулирующего органа используется энергия, развиваемая чувствительным элементом. Такие регуляторы называются *регуляторами прямого действия*. В структурной схеме регулятора прямого действия сигнал с выхода преобразователя передается прямо на регулирующий орган.

Регулятор непрямого действия. В современных системах автоматического регулирования промышленных предприятий регуляторы прямого действия используют редко. В большинстве конструкций регуляторов для перемещения регулирующих органов используют внешние источники энер-

гии, для чего устанавливают специальные усилители — так называемые исполнительные механизмы, использующие различную энергию (рис. 5): электрическую, сжатого воздуха или жидкости под давлением.

Рассмотрим их принцип действия. С изменением уровня, которое может произойти, если приток жидкости не равен ее стоку ($Q_1 \neq Q_2$), *электрический регулятор* уровня жидкости (рис. 5, а), замыкает контакты 1, включает электродвигатель 2. При изменении уровня замыкаются разные контакты в зависимости от направления его изменения, что определяет направление вращения электродвигателя. Далее механическая система 3 превращает вращательное движение якоря двигателя в поступательное движение штока клапана 4. В этом примере в отличие от регулятора прямого действия для перемещения регулирующего органа установлен исполнительный механизм — электродвигатель, использующий внешний источник энергии.



В примере *пневматического регулятора* (рис. 5, б) регулируется давление газа в сосуде. Сжатый воздух от компрессора поступает в пневматическую емкость 7 и вытекает из сопла 9. При повышении давления газа в сосуде 11 манометрическая трубка 8 распрямляется и тем самым уменьшает зазор между соплом 9

и заслонкой 10. Расход воздуха через сопло, а следовательно, и давление в емкости 7 зависят от зазора между соплом и заслонкой: при уменьшении зазора давление в емкости 7 и над мембраной 6 увеличивается. Под действием увеличенного давления сжимается пружина и закрывается регулирующий орган, уменьшая проходное сечение клапана. Приток газа уменьшается, и давление восстанавливается. Роль исполнительного механизма выполняет пневматический усилитель (сопло — заслонка), который использует энергию сжатого воздуха, создаваемую компрессором.

Рис. 5. Регуляторы непрямого действия: а — электрический, б — пневматический, в — гидравлический; 1 — электрические контакты, 2 — электродвигатель, 3 — механическая система, преобразующая вращательное движение в поступательное, 4 — клапан, 5 — шток клапана, 6 — мембрана клапана, 7 — пневматическая емкость, 8 — манометрическая трубка, 9 — сопло, 10 — заслонка, 11 — сосуд, заполненный газом, 12 — распределительное устройство, 13 — отверстие для подачи масла под давлением, 14 — поршень пневмопривода клапана, 15 — отверстия

и заслонкой 10. Расход воздуха через сопло, а следовательно, и давление в емкости 7 зависят от зазора между соплом и заслонкой: при уменьшении зазора давление в емкости 7 и над мембраной 6 увеличивается. Под действием увеличенного давления сжимается пружина и закрывается регулирующий орган, уменьшая проходное сечение клапана. Приток газа уменьшается, и давление восстанавливается. Роль исполнительного механизма выполняет пневматический усилитель (сопло — заслонка), который использует энергию сжатого воздуха, создаваемую компрессором.

В *гидравлическом регуляторе* (рис. 5, в) исполнительный механизм состоит из золотникового распределительного устройства 12 и гидравлического поршня 14. Масло под давлением подается через отверстие 13 между двумя поршнями гидрораспределителя, имеющими одинаковую площадь.

В исходном положении распределительное устройство перекрывает отверстия 15, соединенные с полостями над и под поршнем гидравлического исполнительного механизма. При увеличении уровня воды поплавков перемещает поршни распределительного устройства 12 и открывает проход маслу в полость над поршнем 14 исполнительного механизма. Под давлением масла поршень перемещается вниз и уменьшает приток воды в бак. При этом масло из-под поршня 14 при перемещении поршня через распределительный механизм выдавливается на слив.

Функциональная схема регулятора непрямого действия не зависит от вида энергии, используемой для приведения в действие исполнительного механизма, и отличается от функциональной схемы регулятора прямого действия наличием усилителя между первичным измерительным преобразователем и исполнительным механизмом.

§ 6. Отрицательная и положительная обратные связи. Рассогласование

Обратной связью автоматической системы регулирования называется связь, направленная от выхода к входу рассматриваемого участка цепи.

Рассмотрим принцип действия обратной связи на примере регулятора И. И. Ползунова (см. рис. 3). Предположим, что возмущением служит изменение подачи воды ΔG_v (рис. 6), где Δ обозначает изменение (приращение) расхода, т. е. значение возмущения. Увеличение расхода обозначим «+», т. е. положительное возмущение, а уменьше-

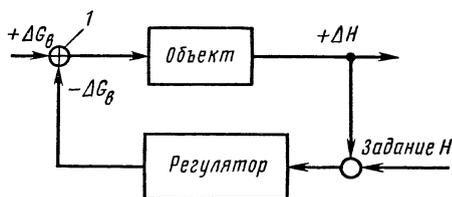


Рис. 6. Упрощенная структурная схема замкнутой АСР (1 — точка суммирования)

ние обозначим «-». При увеличении расхода воды через регулирующий клапан 4 (см. рис. 3) на $+\Delta G_v$ (рис. 6) уровень воды увеличится на $+\Delta H$. Чтобы вернуть уровень в исходное положение, регулятор должен уменьшить расход воды через клапан на $-\Delta G_v$, тогда в точке суммирования 1 на входе в объект сигнал будет равен 0, т. е. $(+\Delta G_v) + (-\Delta G_v) = 0$. Это означает, что приращение (изменение расхода) равно нулю, т. е. расход вернулся к первоначальному значению. В рассматриваемом примере регулятор инвертирует (меняет на противоположный) знак приращения и тем самым осуществляет *отрицательную* обратную связь.

Если регулятор не будет инвертировать знак, то в нашем случае при увеличении уровня на $+\Delta H$ регулятор изменит расход воды на $+\Delta G_v$ и сигнал на входе в объект будет равен $+\Delta G_v$, а это приведет к еще большему увеличению уровня до $+\Delta H$ и т. д. до тех пор, пока или котел не переполнится водой, или клапан полностью не закроется. Такая обратная связь и такой контур называются *положительными*.

При всех внешних и внутренних возмущениях регулируемый параметр возвращается регулятором к первоначальному значению. Исключение составляет возмущение по заданию регулируемой величины (рис. 7).

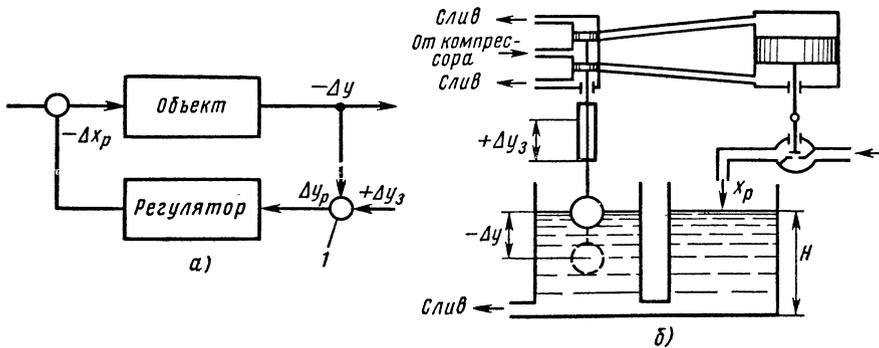


Рис. 7. Действие обратной связи при возмущении со стороны задания: а — обобщенная структурная схема АСР, б — пример регулятора; 1 — точка суммирования сигналов задания и регулируемого параметра

Для упрощения анализа работы системы будем рассматривать только изменение параметров (их приращение), т. е. будем считать, что исходные значения задания расхода и уровня равны нулю. Установим задание $+\Delta y_3$. Этот сигнал, попав на вход регулятора, приведет его в действие, т. е. $-\Delta x_p$ на выходе регулятора будет расти, а это вызовет появление сигнала Δy на выходе объекта. Оба эти сигнала суммируются в точке 1 с разными знаками. Пока сумма $(+\Delta y_3) + (-\Delta y)$ не станет близка нулю, регулятор будет изменять Δx_p и Δy . И только когда $(+\Delta y_3) + (-\Delta y) \approx 0$, т. е. когда на входе в регулятор не будет сигнала или он будет очень мал, регулятор перестанет обрабатывать возмущение по заданию. Это произойдет тогда, когда y по абсолютному значению станет равным абсолютному значению задания $|\Delta y| = |\Delta y_3|$.

Следовательно, при изменении задания Δy_3 будет автоматически устанавливаться новая величина регулируемого параметра y .

Разница между заданным и действительными значениями регулируемой величины называется *рассогласованием* или ошибкой: $y_p = y_3 - y$.

Все то время, пока существует рассогласование ($\Delta y_p \neq 0$), параметры системы изменяются, т. е. система находится в движении. В этом случае для каждого параметра системы, включая и рассогласование, можно построить график его изменения во времени. Поведение системы в интервале времени, когда $y_p \neq 0$, и характер факторов, влияющих на это поведение, называются *динамическими свойствами замкнутой системы*, а график изменения параметров системы и ее элементов (регулятора, объекта и т. д.) во времени называется *динамической характеристикой*.

Глава III

ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АСР

§ 7. Разгонная и временная характеристики. Самовыравнивание

Любая динамическая система характеризуется притоком вещества или энергии и их стоком. Если приток равен стоку, то система находится в равновесии. Уровень в баке H и в паровом котле будет неизменным, если в первом случае приток воды в бак $G_{пр}$ (рис. 8, а) равен стоку $G_{ст}$, а приток воды в паровой котел будет равен количеству воды, выносимой в парообразном состоянии (рис. 8, б). Только при таких условиях уровень будет неизменным. Постоянное давление в пневматической емкости установится только при условии $G_{пр} = G_{ст}$ (рис. 8, в).

При нарушении условия равновесия регулируемые параметры (уровень, температура и давление) будут изменяться в каждую единицу времени. Характер этого изменения мы рассмотрим на примере гидравлической установки (рис. 8, а).

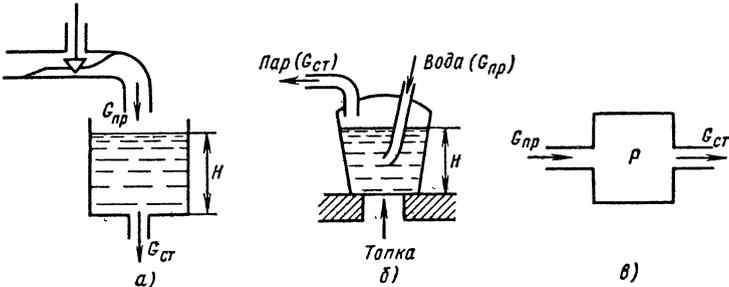


Рис. 8. Объекты автоматизации гидравлической (а), тепловой (б) и пневматической (в) установок

Увеличим расход воды на притоке с помощью клапана и характер изменения расхода изобразим графически (рис. 9, а). По оси абсцисс отложим время (например, в секундах), по оси ординат — расход воды ($\text{м}^3/\text{ч}$).

До момента внесения возмущения расход жидкости на притоке равен расходу на стоке. В момент времени $t = 20$ с изменим скачком расход жидкости на притоке с 4 до 6 $\text{м}^3/\text{ч}$. С увеличе-

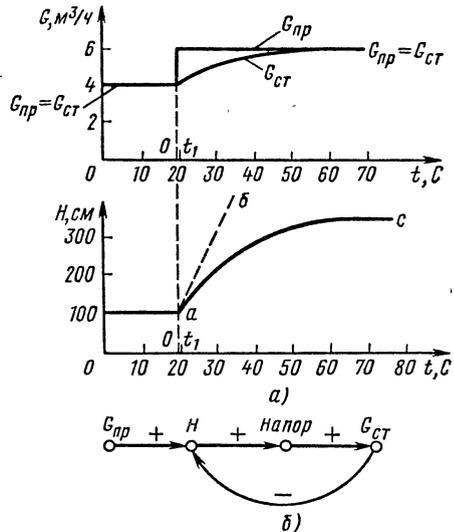


Рис. 9. Получение разгонной характеристики регулируемого параметра: а — графики изменения параметров и разгонная характеристика, б — диаграмма прохождения сигналов

нием $G_{\text{пр}}$ уровень H воды начинает расти с постоянной скоростью (пунктирная линия ab), но увеличение количества жидкости в емкости и ее общей массы увеличивает напор, с которым жидкость проходит через трубу стока, т. е. увеличение уровня приводит к увеличению напора, а тот в свою очередь увеличивает $G_{\text{ст}}$ и тем самым уменьшает скорость роста уровня. Поэтому рост уровня H изобразится кривой ac . В момент, когда расход на стоке, увеличиваясь, станет равным расходу на притоке, уровень перестанет расти и установится на новом значении. Система придет в новое устойчивое состояние (установившееся значение). Характер перехода системы из одного устойчивого состояния в другое определяется динамическими свойствами объекта. Эти свойства наладчики должны учитывать при настройке замкнутой системы автоматического регулирования.

Кривая перехода технологического параметра, в данном случае уровня, из одного устойчивого состояния в другое при ступенчатом возмущении называется *разгонной (переходной) характеристикой регулируемого параметра*. А свойство системы достигать устойчивого состояния после приложения длительного возмущения без вмешательства управляющего устройства называется *самовыравниванием* (саморегулированием).

Если параметры процесса изобразить кружками, а влияние параметров друг на друга — стрелками, то получим диаграмму прохождения сигнала (рис. 9, б), которая вскрывает природу саморегулирования. Знаком «+» над стрелкой обозначим положительную связь, а знаком «-» — отрицательную. Диаграмма читается так: увеличение $G_{\text{пр}}$ увеличивает H , увеличение H увеличивает напор, увеличение напора увеличивает $G_{\text{ст}}$, увеличение $G_{\text{ст}}$ уменьшает уровень. Диаграммы прохождения сигнала позволяют вскрыть внутреннюю структуру динамической системы.

На диаграмме прохождения сигнала видна отрицательная обратная связь, осуществляющая самовыравнивание (отрицательный контур: H — напор — $G_{\text{ст}}$ — H). Совокупность прямой цепи и обратной связи называется *контуром*. При отрицательной обратной связи контур отрицательный, при положительной — положительный. Наличие отрицательного контура всегда характеризует стабилизирующие свойства системы. В системе как бы существует внутренний регулятор, который и обеспечивает стабилизацию параметра на новом уровне.

Для исключения из опыта производственных помех (неконтролируемых возмущений) на действующем оборудовании всегда снимают несколько разгонных характеристик, причем точно выдержать одинаковые возмущения при каждом опыте не всегда удастся, а при разных возмущениях установившиеся значения уровня будут различными. Чтобы привести несколько разгонных характеристик к одному возмущению, их необходимо перестроить следующим образом.

За начало отсчета времени принимают момент внесения возмущения, а за начало отсчета уровня — уровень до внесения возмущения, т. е. разгонная характеристика переносится в начало координат (рис. 10, а). Затем несколько текущих значений уровня, соответствующих точкам 1—5, делят на числовое значение возмущения ($2 \text{ м}^3/\text{ч}$). Полученная таким образом характеристика (рис. 10, б) обозначается $h(t)$ и называется *временной*. Она представляет собой кривую изменения выходной величины объекта (например, уровня) во времени, полученную в результате единичного

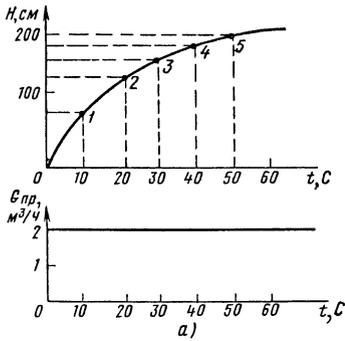
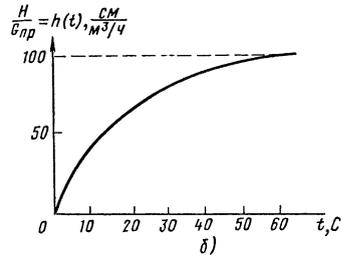


Рис. 10. Построение разгонной (а) и временной (б) характеристик



входного ступенчатого возмущения при условии, что до момента приложения этого возмущения система находилась в покое (т. е. других возмущений не было).

§ 8. Частотные характеристики

Частотной характеристикой называется график реакции динамической системы на периодическое входное возмущение.

Определение частотной характеристики объекта рассмотрим на примере системы регулирования уровня (рис. 11, а). Источником возмущения служит регулирующий орган 1 (клапан). С ним связан генератор периодических колебаний. Электродвигатель 7 через редуктор 6 вращает кривошип 2. Ползун 5, скользящий вдоль прорези траверсы 3, шарнирно соединен с кривошипом так, что тяга 4 совершает периодические колебания. Тяга шарнирно связана со штоком регулирующего органа, который изменяет приток воды $x(t)$ в резервуар также по периодическому закону.

Можно ступенчато перемещать регулирующий орган, изменяя через равные промежутки времени его положение относительно равновесного состояния на $\pm d$. При этом уровень жидкости в резервуаре будет изменяться во времени с тем же периодом, с которым изменяет свое положение регулирующий орган.

Поскольку резервуар, заполненный жидкостью, обладает определенной инерцией, амплитуда $A_{\text{вых}}$ (рис. 11, б) колебаний уровня, выраженная в % от диапазона его изменения, будет меньше амплитуды $A_{\text{вх}}$ перемещения регулирующего органа, выраженной в % от полного его хода, а сами колебания уровня будут отставать от входных на ΔT . Обычно периодические колебания характеризуют не их периодом T , а частотой $f=1/T$ или угловой частотой $\omega=2\pi/T$, т. е. числом радиан в единицу времени. Угловой сдвиг ΔT между колебаниями также выражают не в секундах, а в градусах и обозначают $\varphi=(360^\circ/T)\cdot\Delta T$. Эту величину называют сдвигом фаз или угловым сдвигом между входными и выходными колебаниями.

Зависимость между амплитудами $A_{\text{вх}}$ и $A_{\text{вых}}$, а также угловой сдвиг (относительное отставание ΔT) между колебаниями при изменении угловой частоты проследим на примере.

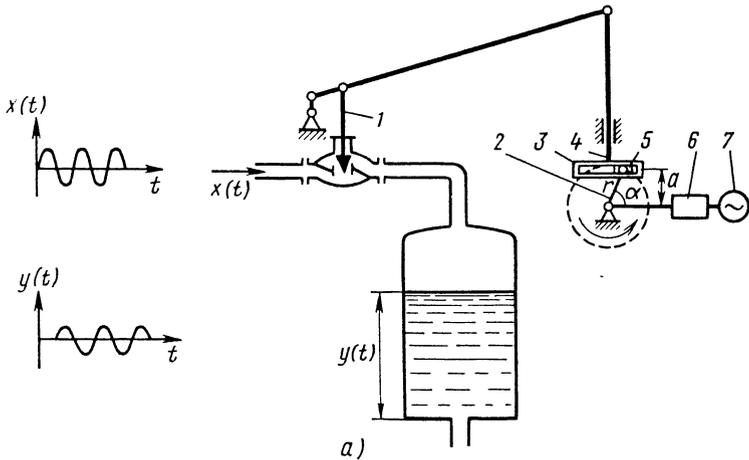


Рис. 11. Частотные характеристики системы:

a — пример определения частотной характеристики, $b - d$ — частотные характеристики при увеличении угловой частоты; 1 — регулирующий орган, 2 — кривошип, 3 — траверса, 4 — тяга, 5 — ползун, 6 — редуктор, 7 — двигатель

Пример. Регулирующий орган поочередно перемещают с разной угловой частотой так, что $\omega_1 < \omega_2 < \omega_3 < \omega_4$ (рис. 11, $b - d$). Если амплитуда входных сигналов составила 10 %, то амплитуды выходных колебаний (в масштабе рисунка) $A_{вых1} = 9,2 \%$, $A_{вых2} = 7,2 \%$, $A_{вых3} = 4 \%$ и $A_{вых4} = 3 \%$. Для каждой частоты вычисляют значения отношений амплитуд выходных и входных колебаний. Для рассматриваемого случая $A_{вых1}/A_{вх} = 0,92$; $A_{вых2}/A_{вх} = 0,72$; $A_{вых3}/A_{вх} = 0,4$ и $A_{вых4}/A_{вх} = 0,3$.

Нулевая угловая частота соответствует скачкообразному возмущению (см. рис. 10, a), а отношение $A_{вых}(0)/A_{вх}(0)$ равно установившемуся значению временной характеристики и называется *коэффициентом усиления к при нулевой частоте*.

Зависимость отношения $A_{вых}/A_{вх}$ от угловой частоты ω называется *амплитудно-частотной характеристикой системы (АЧХ)* и обозначается $A(\omega)$. График АЧХ приведен на рис. 12, a .

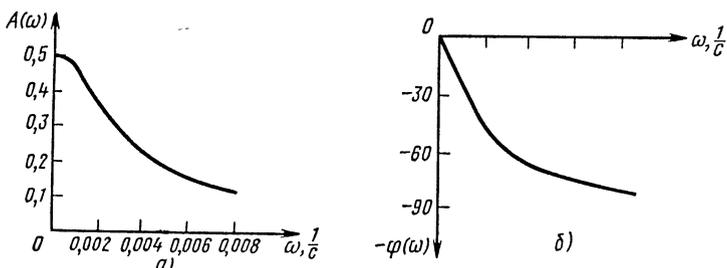


Рис. 12. Амплитудная (а) и фазовая (б) частотные характеристики

При малой частоте $\omega_1 = 0,001$ 1/с (см. рис. 11, а) изменение уровня следует за изменением расхода воды с отставанием ΔT_1 (см. рис. 11, б), например 460 с, так как

$$T_1 = 2\pi/\omega_1 = (2 \cdot 3,14)/0,001 = 6280 \text{ с, то } \varphi_1 = (360^\circ/T_1) \cdot \Delta T_1 = (360^\circ/6280) \times 460 = 26^\circ,$$

что составляет 7% периода колебаний $T_1 = 6280$ с.

По мере увеличения частоты колебаний отставание ΔT уменьшается по абсолютной величине: $\Delta T_2 = 395$ с, $\Delta T_3 = 277$ с, $\Delta T_4 = 165$ с, но относительное отставание (угловой сдвиг) увеличивается: $\varphi_2 = 45^\circ$; $\varphi_3 = 63^\circ$ и при частоте $\omega_4 = 0,008$ 1/с составляет $\varphi_4 = 76^\circ$ (т. е. 21% от периода колебаний T_4). Зависимость углового сдвига φ между входными и выходными колебаниями от частоты ω называется фазо-частотной характеристикой (ФЧХ) и обозначается минус $\varphi(\omega)$. Знак минус определяет отставание выходной величины от входной. График ФЧХ приведен на рис. 12, б.

Оба графика АЧХ и ФЧХ (рис. 12) объединяют в один график амплитудно-фазовой частотной характеристики АФЧХ (рис. 13, а). Для этого на горизонтальной прямой OB отложим в любом масштабе значение коэффициента усиления $k_{ус}$. Вниз (по часовой стрелке) под углом минус φ_1 проведем прямую Og . В масштабе, выбранном для $k_{ус}$, отложим на прямой Og отношение амплитуд $A_{вых1}/A_{вх}$.

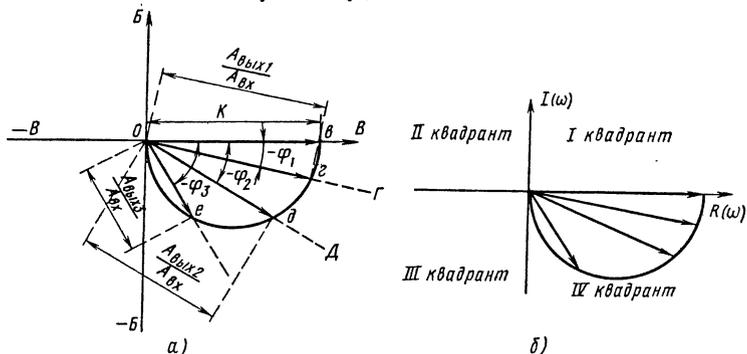


Рис. 13. Амплитудно-фазовая частотная характеристика (АФЧХ): а — графическое построение, б — квадранты плоскости

Повторим построение для углов $-\varphi_2$ и $-\varphi_3$, проводя прямые od и oe , на которых отложим отношения амплитуд, соответствующих частотам $A_{\text{вых}2}/A_{\text{вх}}$ и $A_{\text{вых}3}/A_{\text{вх}}$. Соединив полученные точки v, g, d, e, o , получим график АФЧХ, который для рассмотренного нами примера на рис. 13 будет полуокружностью. Если через начало отсчета провести вертикальную прямую $B-B$ (рис. 13, а) и прямую OB продлить влево ($B-B$), то две эти прямые разделяют плоскость на четыре квадрата так, как это показано на рис. 13, б. Ось $B-B$ называется вещественной и обозначается $R(\omega)$, а ось $B-B$ — мнимой и обозначается $I(\omega)$.

Частотные характеристики, как и временные, позволяют определить инерционные свойства объекта, которые необходимы для настройки регулирующего устройства на технологический процесс. Неправильно настроенная система регулирования может автоматически вывести технологический процесс на аварийную ситуацию (например, взрыв технологического оборудования).

Глава IV ТИПОВЫЕ ЗВЕНЬЯ АСР

§ 9. Характеристики типовых звеньев

В настоящее время имеется много различных систем автоматического регулирования технологических процессов. Все они независимо от способа их реализации по виду динамических характеристик (временных и частотных) могут быть представлены совокупностью нескольких типовых элементарных звеньев — инерционных, безынерционных, транспортного запаздывания и интегрирующих.

Названия типовых звеньев отражают их физическую сущность. Исключение составляет интегрирующее звено, название которого больше отражает характер его математической модели, но от этого его физическая сущность не становится сложнее.

Звеньями принято называть составные части управляющих устройств и управляемых объектов, а типовыми звеньями — звенья с наиболее распространенными динамическими свойствами.

Гидравлическая, тепловая и пневматическая модели инерционных (апериодических) звеньев приведены на рис. 8, электрические — на рис. 14, а. Все эти модели элементарных звеньев имеют одинаковые временные и частотные характеристики. Рассмотрим электрическое инерционное звено. Входной величиной электрического инерционного звена является напряжение $U_{\text{вх}}$, а выходной $U_{\text{вых}}$. Ток заряда конденсатора I_c зависит от возмущения $U_{\text{вх}}$ и сопротивления резистора R . Ток I_c , протекающий через конденсатор C , и время заряда конденсатора t определяют заряд конденсатора Q , от которого, в свою очередь, зависит напряжение на обкладках конденсатора $U_{\text{вых}}$ и сопротивление конденсатора R_c постоянному току. С увеличением сопротивления конденсатора R_c уменьшается ток заряда конденсатора I_c .

Для всех инерционных звеньев диаграмма прохождения сигнала имеет отрицательную обратную связь, т. е. для них характерно самовывравнива-

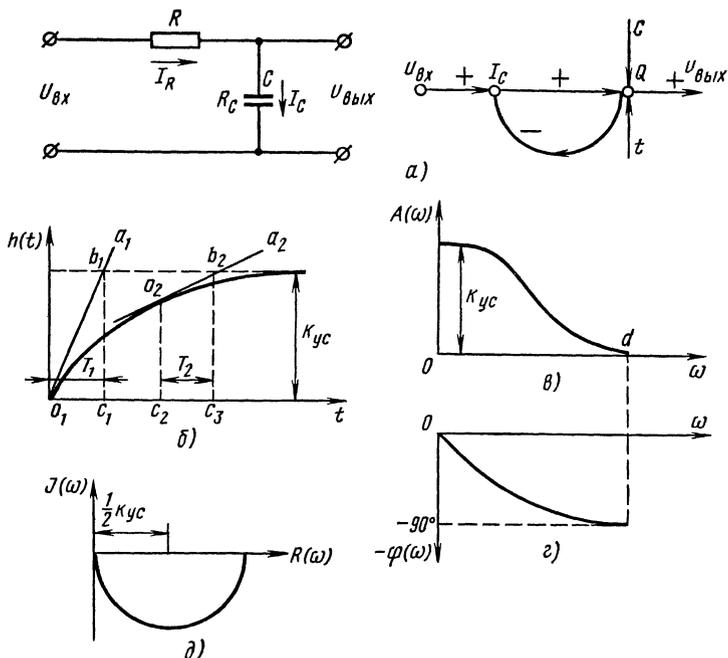


Рис. 14. Инерционное звено.

a — пример электрического инерционного звена и диаграмма прохождения сигнала, *б* — временная характеристика, *в* — АЧХ, *г* — ФЧХ, *д* — АФЧХ

ние. Основная отличительная особенность инерционного звена от остальных типовых элементарных звеньев — наличие отрицательной обратной связи.

Временная характеристика инерционного звена была рассмотрена в § 11. Если к кривой $h(t)$ (рис. 14, б) инерционного звена провести касательную к любой ее точке, то расстояния от проекции точки касания на ось времени до проекций точки пересечения касательной с продолжением установившегося значения $h(\infty)$ равны между собой независимо от того, к какой точке временной характеристики проведена касательная.

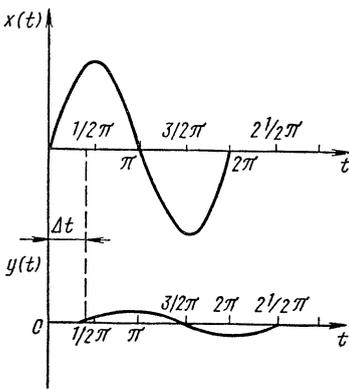
На рисунке касательные o_1a_1 и o_2a_2 проведены к двум точкам o_1 и o_2 . Проекции отрезков касательных o_1b_1 и o_2b_2 на ось времени (o_1c_1 и o_1c_3) называются постоянной времени, обозначаются T и измеряются в единицах времени. Особенность временной характеристики инерционного звена заключается в том, что независимо от того, к какой точке характеристики проведены касательные, проекция касательной на ось времени остается постоянной, т. е. в нашем примере $T_1 = T_2$. *Кривые, у которых проекция касательной (для любой точки касания) на ось времени — величина постоянная, называются экспонентами.*

Установившееся значение временной характеристики $h(\infty)$ называется коэффициентом усиления звена и обозначается K_{yc} .

Частотные характеристики инерционного звена имеют специфические отличительные особенности по сравнению с другими типовыми звеньями.

Значение АЧХ звена (рис. 14, в) при нулевой частоте равно коэффициенту усиления звена $A(\omega_0) = \kappa_{yc}$. С увеличением частоты колебаний при постоянной амплитуде входных периодических колебаний амплитуда выходных колебаний звена уменьшается и при некоторой частоте становится равной нулю. Поэтому ординаты кривой АЧХ инерционного звена с увеличением частоты уменьшаются до пересечения с осью абсцисс (точка d). Частота, при которой колебания на выходе звена уже не могут быть измерены, называется частотой среза звена ω_{cp} , т. е. $A(\omega_{cp}) \cong 0$. Принято говорить: все частоты больше частоты ω_{cp} звено отфильтровывает.

Характерная особенность ФЧХ инерционного звена (рис. 14, г) заключается в том, что максимальный угол сдвига — $\varphi(\omega)$ стремится к 90° , но никогда его не превышает. Сдвиг 90° соответствует $1/4$ периода периодических колебаний, так как полный период составляет 360° , сдвиг $90^\circ = 1/2\pi$.



На рис. 15 приведены периодические колебания входа $x(t)$ и выхода $y(t)$ при частоте, близкой к частоте среза. При относительном сдвиге $\Delta t = 1/2\pi$ амплитуда выхода равна нулю.

АФЧХ звена представляет собой полуокружность (см. рис. 14, д), проведенную радиусом $\kappa_{yc}/2$ с центром, лежащим на вещественной оси и отстоящим от начала координат на величину $1/2\kappa_{yc}$, где κ_{yc} — коэффициент усиления звена при

Рис. 15. Предельный сдвиг инерционного звена

нулевой частоте. Безынерционным (пропорциональным) звеном называется такое элементарное звено, у которого изменения выходной величины пропорциональны соответствующим изменениям входной величины. Примерами безынерционных звеньев могут служить усилители: механические, электронные, пневматические.

Реакция на выходе безынерционного звена наступает мгновенно после приложения возмущения, поэтому форма временной характеристики повторяет форму входного ступенчатого возмущения (рис. 16, а).

В качестве примера безынерционного звена рассмотрим механический усилитель — рычажную передачу (рис. 16, б). Входным возмущением звена будет перемещение плеча ao , равное Δx , а выходным — перемещение плеча ob , равное Δy . Отношение $\Delta y/\Delta x$ называется коэффициентом усиления звена κ_{yc} .

Если к безынерционному звену приложить периодическое возмущение, т. е. конец a рычага ab периодически перемещать с постоянной амплитудой $A_{вх}$, то второй конец b будет в точности повторять характер этого возмущения с амплитудой $A_{вых}$. С изменением частоты входного сигнала отношение $A_{вых}/A_{вх}$ всегда остается постоянным, т. е. график амплитудно-частотной характеристики безынерционного звена будет представлять собой прямую, параллельную оси частот и отстоящую от нее на величину

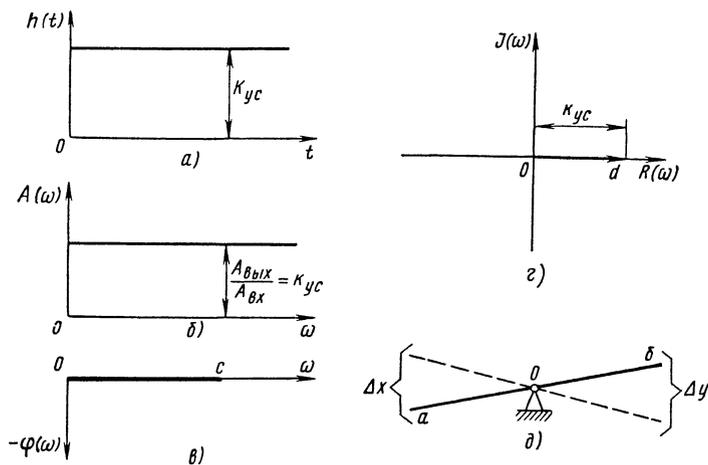


Рис. 16. Безынерционное звено:
 а — временная характеристика, б — АЧХ, в — ФЧХ, г — АФЧХ, д — пример безынерционного звена

$A_{\text{вых}}/A_{\text{вх}}$, равную коэффициенту усиления звена κ_{yc} (рис. 16, б). Таким образом, амплитудно-частотная характеристика безынерционного звена равна коэффициенту усиления $A(\omega) = \kappa_{yc}$.

Для любой частоты периодических колебаний отставания выходных колебаний от входных не будет (так как звено безынерционное), поэтому ФЧХ равна нулю для всех частот $\varphi(\omega) = 0$. Следовательно, график ФЧХ может быть изображен лучом, лежащим на оси частот ω (рис. 16, в). Зная АЧХ и ФЧХ, нетрудно построить график АФЧХ (рис. 16, г), который изобразится отрезком od , лежащим на вещественной оси $R(\omega)$ и равным коэффициенту усиления κ_{yc} .

Транспортным запаздыванием называется время запаздывания, обусловленное только конечной скоростью распространения сигнала.

Примером звена транспортного запаздывания может служить транспортирование жидкости, пара или газа по трубопроводам, бумажной ленты в бумагоделательной машине, сыпучих веществ по конвейеру (рис. 17, д).

Если на пустой конвейер подавать сыпучий материал, то на выходе с него материал появится через время, необходимое на его перемещение по конвейеру. Это время называется временем транспортного запаздывания и обозначается τ . Транспортное запаздывание обусловлено только скоростью движения конвейера v .

Выходная величина звена точно повторяет график входного возмущения, но с запаздыванием, равным τ . Зная длину конвейера L и скорость его перемещения v , определяют запаздывание во времени $\tau = L/v$.

Временная характеристика имеет форму скачка, но сдвинута от начала координат на время запаздывания τ (рис. 17, а). Коэффициент усиления звена κ_{yc} всегда равен 1, так как сколько мы на конвейер подадим сыпучего вещества, столько с него и сойдет (причем входной и выходной сигналы измеряются всегда в одних и тех же единицах).

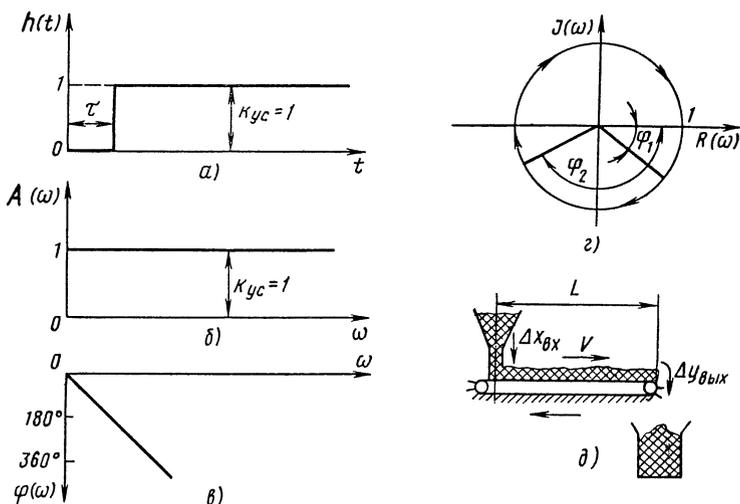


Рис. 17. Звено транспортного запаздывания:

а — временная характеристика, *б* — АЧХ, *в* — ФЧХ, *г* — АФЧХ, *д* — пример звена транспортного запаздывания

Амплитудно-частотная характеристика (рис. 17, б) будет прямой, параллельной оси частот и отстоящей от нее на значение $k_{yc}=1$. Сдвиг между входным и выходным периодическими колебаниями пропорционален частоте возмущения ω , но поскольку отношение амплитуд для любой частоты равно 1, то угол сдвига α может принимать любые значения: 90, 180, 360° и более (рис. 17, в).

При построении АФЧХ (рис. 17, г) прямая поворачивается на углы 90, 180, 360° и т. д. Конец этой прямой прочертит график АФЧХ, которая будет окружностью с центром в начале координат и радиусом, равным 1.

Интегрирующим звеном называется типовое элементарное звено, у которого скорость изменения выходной величины пропорциональна изменению входной.

Примером интегрирующего звена может быть гидравлическое распределительное устройство с поршнем (принцип действия см. § 8). При нанесении возмущения поршень (рис. 18, д) перемещается с постоянной скоростью, зависящей от проходных сечений трубопроводов, подачи и слива масла и давления масла на поршень, поэтому график временной характеристики имеет вид прямой, проведенной из начала координат (рис. 18, а) под углом α , который полностью определяет характеристику, т. е. достаточно знать угол наклона временной характеристики, чтобы ее построить.

Тангенс угла наклона временной характеристики $\operatorname{tg} \alpha$ называется коэффициентом пропорциональности интегрирующего звена и обозначается ϵ .

Коэффициент пропорциональности интегрирующего звена фактически является скоростью изменения выходной величины. Очевидно, что в рассмотренном примере скорость изменения выходной величины зависит от перепада давлений $\Delta p = p_1 - p_2$ (рис. 18, д). Чем больше Δp , тем больше

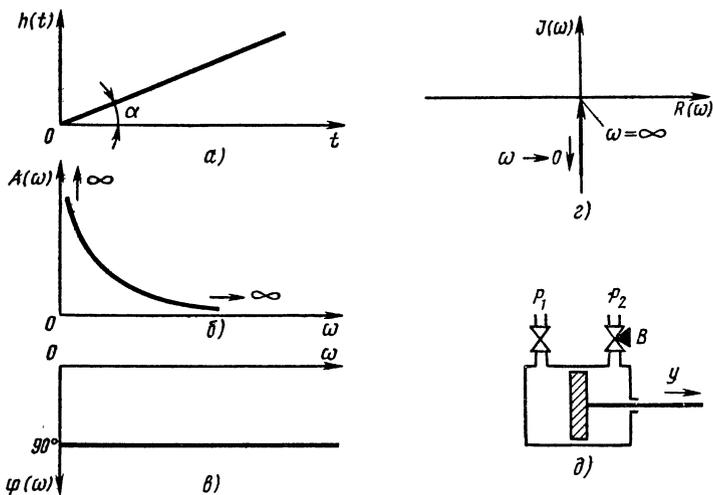


Рис. 18. Интегрирующее звено:
 а — временная характеристика, б — АЧХ, в — ФЧХ, г — АФЧХ, д — пример интегрирующего звена

скорость перемещения поршня. Изменяя проходное сечение трубопровода слива масла вентилем B , можно изменить расход масла и давление p_2 , а значит, и скорость перемещения поршня. При различных положениях вентилей коэффициент пропорциональности ϵ будет принимать различные значения, т. е. скорость изменения выходной величины будет пропорциональна изменению входной.

Аналогичные рассмотренному примеру устройства применяют в качестве исполнительных механизмов систем регулирования. Следует обратить внимание на то, что поршень может быть остановлен в любом положении, для чего достаточно перекрыть проходные сечения распределительного устройства.

ФЧХ интегрирующего звена (рис. 18, в) обладает особенностью — сдвиг по фазе при любых частотах равен 90° или четверти периода $1/4 T$. Чтобы в этом убедиться, пользуясь принципом наложения, строят графически реакцию звена на периодическое прямоугольное возмущение.

ФЧХ звена представляет собой прямую, параллельную оси частот и отстоящую от нее на величину, равную 90° .

Рассмотрим АЧХ звена (рис. 18, б). Отношение амплитуд выходных колебаний при нулевой частоте ω_0 равно бесконечности, так как временная характеристика неограниченно растет (можно условно считать до бесконечности):

$$A(\omega_0) = \frac{A_{\text{вых}}(\omega_0)}{A_{\text{вх}}(\omega_0)} = \frac{\infty}{A_{\text{вх}}(\omega_0)} = \infty.$$

С увеличением частоты ω $A(\omega)$ уменьшается и, если частота стремится к бесконечности ($\omega \rightarrow \infty$), то $A(\omega)$ стремится к нулю.

АФЧХ (рис. 18, г) представляет собой прямую, совпадающую с отрицательной полуосью $I(\omega)$.

§ 10. Соединение звеньев АСФ

В системах автоматического регулирования типовые звенья соединяются в трех основных сочетаниях: параллельное, последовательное соединения и охват звена обратной связью (см. § 11).

При *параллельном соединении звеньев* (рис. 19, а) на их вход одновременно подается возмущение, а реакции обоих звеньев суммируются алгебраически, т. е. при параллельном соединении входы и выходы звеньев объединены.

Результирующая временная характеристика на выходе параллельных звеньев получается суммированием ординат, соответствующих одним и тем же значениям времени, по правилу наложения.

Построение АФЧХ двух параллельно включенных звеньев по АЧХ и ФЧХ каждого звена выполняют по правилу параллелограмма. Коэффициент усиления при параллельном соединении этих звеньев равен сумме коэффициентов каждого звена: $\kappa_p = \kappa_1 + \kappa_2$.

При *последовательном соединении звеньев* (рис. 19, б) выходной сигнал первого звена 1 подается на вход звена 2.

Рис. 20. Построение временной → характеристики двух последовательно соединенных интегрирующих звеньев:

а — сигнал на входе во второе звено, б — разложение входного сигнала на ступенчатые возмущения, в — суммирование реакции на каждое ступенчатое возмущение

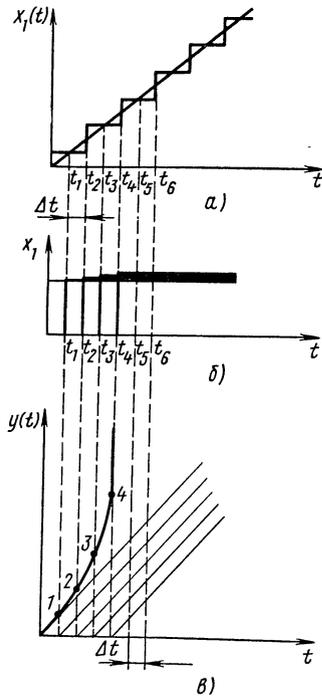


Рис. 19. Схемы параллельного (а), последовательного (б) соединения звеньев и звена, охватываемого обратной связью (в)

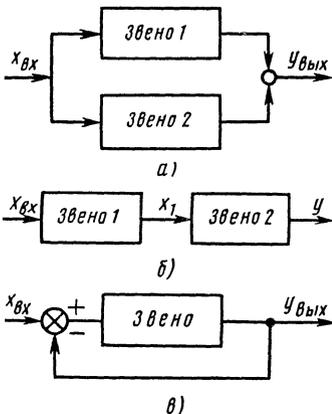
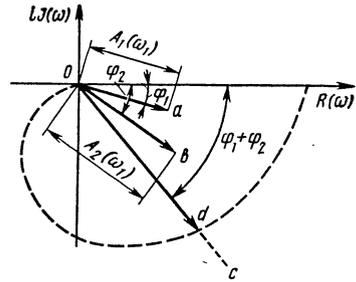


Рис. 21. Принцип построения АФЧХ последовательного соединения двух звеньев по их частотным характеристикам



В качестве примера рассмотрим последовательное включение двух интегрирующих звеньев. В этом случае на вход второго звена вместо ступенчатого возмущения будет подан сигнал, нарастающий с постоянной скоростью, т. е. разгонная характеристика первого звена $x_1(t)$ (рис. 20, а). Представим разгонную характеристику сигнала $x_1(t)$ ступенчато нарастающим сигналом. Аппроксимируем (заменяем) непрерывную характеристику ступенчатой. Тогда возмущение на входе второго звена можно разложить на несколько независимых ступенчатых возмущений, равных по амплитуде и прикладываемых к входу второго звена через равные интервалы времени Δt (рис. 20, б). Реакция звена на каждое ступенчатое возмущение нам известна. Построим эти реакции, применив принцип наложения, и получим точки 1, 2, 3, 4 и т. д. (рис. 20, в) результирующей характеристики $y(t)$ двух последовательно включенных звеньев. Соединив эти точки, получим разгонную характеристику последовательно соединенных интегрирующих звеньев. С уменьшением интервала Δt между ступеньками точность построения результирующей характеристики увеличивается.

Если известны амплитудно-фазовые характеристики звеньев I и II, можно графически построить результирующую АФЧХ схемы. При последовательном соединении ФЧХ звеньев суммируются. Для одних и тех же частот $\varphi_{рез}(\omega_i) = \varphi_1(\omega_i) + \varphi_2(\omega_i)$; $i = 1, 2, 3 \dots$, а АФЧХ равна произведению модулей векторов $A_1(\omega_i) \cdot A_2(\omega_i)$ (рис. 21).

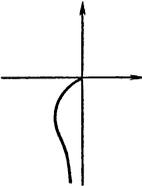
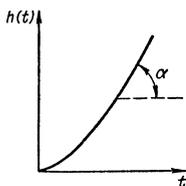
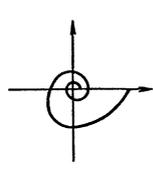
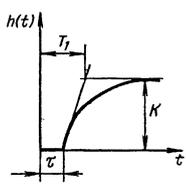
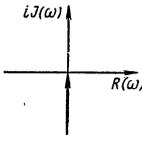
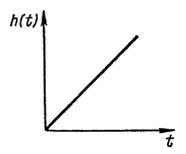
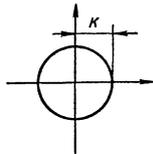
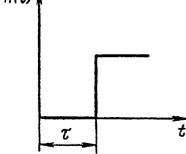
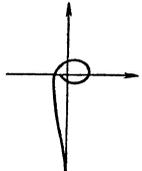
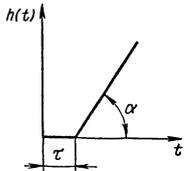
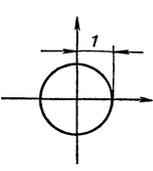
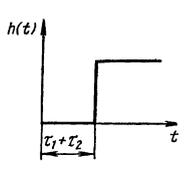
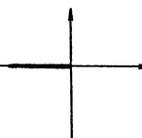
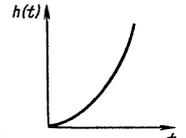
На рис. 21 приведено построение АФЧХ для одной частоты. Под углом φ_1 проведем луч oa и на нем отложим $A_1(\omega_1)$ — получим вектор амплитудно-фазовой характеристики первого звена для частоты ω_1 . Аналогично, зная угол сдвига φ_2 для частоты ω_1 второго звена и соответствующее значение амплитуды для этой частоты $A_2(\omega_1)$, построим вектор амплитудно-фазовой характеристики второго звена для частоты ω_1 . Под углом $\varphi_1 + \varphi_2$ проведем луч oc и на нем отложим значение амплитуды od , равное произведению модулей векторов oa и ob .

Выполнив аналогичные построения для других значений частот (ω_2 , ω_3 и т. д.) и соединив концы стрелок плавной кривой, получим АФЧХ двух последовательно соединенных звеньев.

В практике налагодочных работ не приходится прибегать к построению точных АФЧХ соединений по характеристикам звеньев, однако понимание основных принципов функционирования замкнутых автоматических систем невозможно без знания качественных особенностей этих характеристик. Поэтому в табл. 3 даны временные и АФЧ характеристики последовательного соединения основных типовых звеньев.

Рассмотрим некоторые особенности динамических характеристик последовательно соединенных типовых звеньев.

Таблица 3. Динамические характеристики

Звенья	Звенья			
	интегрирующее		транспортного запаздывания	
	АФЧХ	$h(t)$	АФЧХ	$h(t)$
Инерционное				
Безынерционное				
Транспортного запаздывания				
Интегрирующее				

Инерционное — инерционное. Временная характеристика этого соединения по характеру напоминает характеристику инерционного звена, но в отличие от нее кривизна ее меняется в точке перегиба (ТП) Результирующий коэффициент усиления соединения $k_p = k_1 \cdot k_2$.

Поскольку при последовательном соединении звеньев ФЧХ каждого звена стремятся к 90° , то ФЧХ последовательного соединения двух звеньев будет стремиться к $90 + 90 = 180^\circ$. Поэтому АФЧХ проходит через два квадранта *IV* и *III*. Важно отметить, что при последовательном соединении трех звеньев АФЧХ проходит через три квадранта *IV*, *III* и *II*, и сдвиг, к которому стремится ФЧХ, будет равен $90 + 90 + 90 = 270^\circ$. Число квадрантов, через которое проходит АФЧХ, равно числу последовательно соединенных звеньев. Так, при пяти звеньях, включенных последовательно, АФЧХ последовательно пройдет *IV*, *III*, *II*, *I* квадранты и снова войдет в *IV*, т. е. выходные колебания при больших частотах будут отставать от входных более чем на 360° .

последовательно соединенных звеньев

Звенья			
безынерционное		инерционное	
АФЧХ	$h(t)$	АФЧХ	$h(t)$

Инерционное — безынерционное. При таком соединении звеньев на входе инерционного звена будет ступенчатое возмущение, поэтому временная характеристика соединения по форме не изменится, но коэффициент усиления будет равен $k_p = k_1 \cdot k_2$. АФЧХ имеет форму полукривости с центром на положительной вещественной полуоси и радиусом $k_1 \cdot k_2 / 2$.

Инерционное — транспортного запаздывания. Временная характеристика соединения представляет собой временную характеристику инерционного звена, сдвинутую по оси времени на значение транспортного запаздывания τ .

АФЧХ аналогична характеристике нескольких последовательно включенных инерционных звеньев.

Инерционное — интегрирующее. Временная и АФЧХ характеристики качественно аналогичны соответствующим характеристикам интегрирующего звена, но последовательное включение инерционного звена затягивает начальную часть временной характеристики и смещает АФЧХ с отрицательной мнимой полуоси в III квадрант.

Если последовательно с интегрирующим звеном включить не одно, а несколько инерционных звеньев, то АФЧХ пересечет столько квадрантов, сколько звеньев (включая и интегрирующее) включено последовательно.

Безынерционное — безынерционное. Форма временных и частотных характеристик не меняется, но $\kappa_p = \kappa_1 \cdot \kappa_2$.

Безынерционное — транспортного запаздывания. Временная характеристика звена транспортного запаздывания смещается по оси времени на величину запаздывания τ . АФЧХ соединения повторяет характеристику звена транспортного запаздывания, но радиус окрестности не 1, а κ , так как $1 \cdot \kappa = \kappa$.

Безынерционное — интегрирующее. Включение безынерционного звена последовательно со звеном интегрирующим не меняет форму характеристик интегрирующего звена.

Транспортного запаздывания — транспортного запаздывания. Время транспортного запаздывания суммируется: $\tau_p = \tau_1 + \tau_2$.

Транспортного запаздывания — интегрирующее. Временную характеристику интегрирующего звена транспортное запаздывание сдвигает по оси времени на значение τ . АФЧХ аналогична рассмотренному ранее случаю последовательного соединения интегрирующего звена с несколькими инерционными звеньями.

Интегрирующее — интегрирующее. Построение временной характеристики см. рис. 20. Благодаря тому что ФЧХ при последовательном соединении суммируются и сдвиг каждой из составляющих 90° , АФЧХ соединения проходит по отрицательной вещественной полуоси, т. е. всегда имеет сдвиг 180° .

§ 11. Звенья, охваченные обратной связью.

Переходные процессы

На вход звена, охваченного обратной связью (см. рис. 19, в), кроме сигнала возмущения $x_{вх}$ подается сигнал с выхода звена. В точке, обозначенной крестиком, сигналы суммируются с учетом знака. Для регулирования технологических процессов используют отрицательные обратные связи, в этом случае сигнал с выхода звена подается на вход со знаком, противоположным знаку возмущения.

Звенья АСР после охвата обратной связью меняют свои динамические свойства (вид временных и частотных характеристик), поэтому положительные и отрицательные обратные связи широко используют при конструировании автоматических регуляторов для формирования их динамических характеристик.

Влияние обратных связей на динамические характеристики звеньев рассмотрим на двух примерах: охвата безынерционного звена безынерционной отрицательной обратной связью (рис. 22, а) и охвата интегрирующего звена единичной ($\kappa_{yc} = 1$) отрицательной обратной связью (рис. 22, б).

В первом примере коэффициент усиления прямой цепи (рис. 22, а) равен κ_1 , а обратной κ_2 , тогда рассогласование $x_p = x_{вх} - x_{о.с.}$. Из рисунка видно, что $y_{вых} = x_p \kappa_1$ (так как $\kappa_1 = y_{вых} / x_p$) и $x_{о.с.} = y_{вых} \kappa_2$. Следовательно, можно записать, что $y_{вых} = (x_{вх} - x_{о.с.}) \kappa_1$ или, выразив $x_{о.с.}$ через $y_{вых}$, получим $y_{вых} = (x_{вх} - y_{вых} \kappa_2) \kappa_1$, отсюда $y_{вых} + y_{вых} \kappa_1 \kappa_2 = x_{вх} \kappa_1$ или $y_{вых} (1 + \kappa_1 \kappa_2) = x_{вх} \kappa_1$, следовательно, $y_{вых} / x_{вх} = \kappa_1 / (1 + \kappa_1 \kappa_2)$. Отношение $y_{вых} / x_{вх}$ есть коэффициент усиления всей схемы.

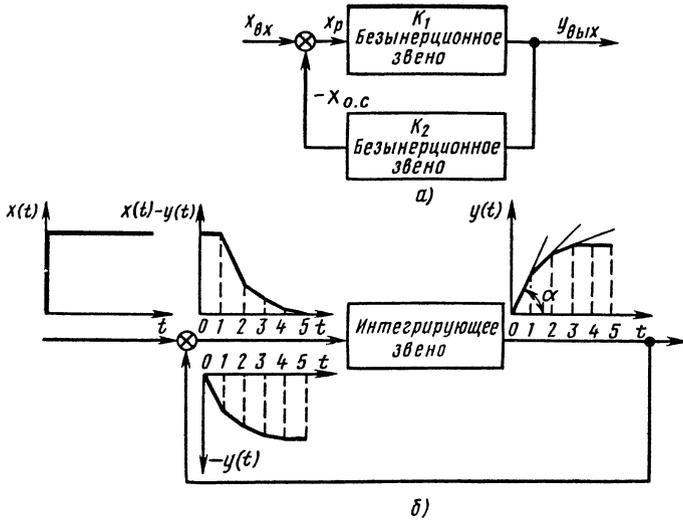


Рис. 22. Пример влияния отрицательной обратной связи на временную характеристику звена:
 а — безынерционное звено, охваченное безынерционной обратной связью,
 б — интегрирующее звено, охваченное единичной отрицательной обратной связью

При конструировании регуляторов и решающих усилителей аналоговых вычислительных машин коэффициент усиления прямой цепи выбирают очень большим ($\kappa_1 \cong \infty$). Следовательно, и $\kappa_1 \kappa_2 \cong \infty$. В этом случае, не допуская большой погрешности, можно пренебречь единицей в знаменателе, т. е. для схемы с большим коэффициентом усиления в прямой цепи $U_{вых}/x_{вх} \cong \kappa_1/\kappa_1 \kappa_2 \cong 1/\kappa_2$. В схемах с большим коэффициентом усиления в прямой цепи (1000 и более) коэффициент усиления всей схемы равен обратному значению коэффициента усиления обратной связи.

Этот вывод распространяется на любое типовое звено, охваченное обратной связью. При достаточно большом коэффициенте усиления прямой цепи динамические свойства системы практически определяются только динамическими свойствами устройства обратной связи и не зависят от динамических свойств прямой цепи. Это свойство обратной связи широко используют при конструировании регуляторов.

Если к системе (рис. 22, б) приложить ступенчатое возмущение $x(t)$ и предположить, что за время от $t=0$ до $t=1$ оно сохранится постоянным, то на этом отрезке времени выходная величина $y(t)$ будет нарастать с постоянной скоростью, обусловленной углом наклона α . Этот сигнал через обратную связь, попадая на вход звена, будет вычитаться из сигнала возмущения. Предположим, что вычитаться из возмущения этот сигнал будет уже на отрезке времени $t=1 \rightarrow t=2$. После вычитания выходной сигнал уменьшится. Значит, можно утверждать, что на отрезке $t_1 \rightarrow t_2$ наклон $y(t)$ тоже уменьшится.

На следующем отрезке времени $t_2 \rightarrow t_3$ в результате действия обратной связи входной сигнал уменьшится еще больше, а следовательно, наклон $y(t)$ тоже уменьшится. Пока на входе в звено будет даже самый не-

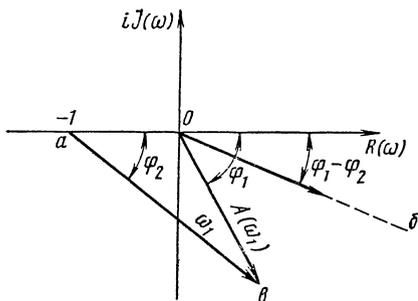


Рис. 23. Принцип построения АФЧХ звена, охваченного отрицательной обратной связью

значительный сигнал, выходной сигнал интегрирующего звена будет расти. И только когда $x(t) - y(t) = 0$, сигнал на выходе перестанет расти. Полученная разгонная характеристика интегрирующего звена, охваченного обратной связью, имеет вид разгонной характеристики инерционного звена.

Рассмотренные примеры наглядно показывают, что обратная связь существенно изменяет динамические характеристики элементарных звеньев.

АФЧХ звена, охваченного обратной связью, графически строится следующим образом (рис. 23). Для частоты ω_1 проводим под соответствующим этой частоте углом φ_1 вектор ov АФЧХ звена. На ней откладываем $A(\omega_1)$, т. е. строим АФЧХ звена для частоты ω_1 . Из точки на отрицательной вещественной полуоси, соответствующей значению АФЧХ -1 (в размерности АФЧХ), проводим прямую av в конец вектора АФЧХ для ω_1 . Проведенная таким образом прямая образует с вещественной полуосью угол φ_2 . Под углом, равным $\varphi_1 - \varphi_2$, из начала координат проведем прямую ob , которая совпадает с направлением вектора АФЧХ звена, охваченного обратной связью. Вектор АФЧХ звена, охваченный обратной связью, находится как частное от деления вектора ov на вектор av .

Следует обратить внимание на то, что включение обратной связи разворачивает вектор АФЧХ звена против часовой стрелки, так как $\varphi_1 - \varphi_2 < \varphi_1$.

Динамические свойства звена, охваченного обратной связью, во многом совпадают с динамическими свойствами систем автоматического регулирования. Изучение динамических свойств звена, охваченного обратной связью, позволяет рассмотреть природу самовыравнивания (саморегулирования) и виды переходных процессов замкнутых систем регулирования.

Зная, как образуется АФЧХ звена, охваченного обратной связью, рассмотрим динамические характеристики интегрирующего звена после охвата его обратной связью для двух наиболее характерных частот $\omega = 0$ (ω_0) и $\omega \rightarrow \infty$ (ω_∞) (рис. 24). При ступенчатом возмущении выходная величина интегрирующего звена неограниченно растет или, как иногда принято говорить, уходит в бесконечность. Поэтому можно считать, что прямая, проведенная из точки -1 в конец АФЧХ звена, для частоты ω_0 будет параллельна вектору АФЧХ (рис. 24, а), т. е. угол $\varphi_2 = 90^\circ$. Отсюда вектор oa АФЧХ звена, охваченного обратной связью, будет выходить из начала координат под углом $\varphi_1 - \varphi_2 = 90 - 90 = 0^\circ$, т. е., как и для инерционного звена, будет лежать на вещественной положительной полуоси.

Для частоты ω_∞ $A(\omega_\infty)$ будет стремиться к 0, а следовательно, угол φ_2 , под которым вектор выходит из точки -1 , будет стремиться тоже к нулю (рис. 24, б). Это значит, что вектор АФЧХ звена, охваченного обратной

Рис. 24. АФЧХ интегрирующего звена, охваченного отрицательной обратной связью, для $\omega = 0$ (а) и $\omega \rightarrow \infty$ (б)

связью, будет выходить из начала координат под углом $\varphi_1 - \varphi_2 = 90 - 0 = 90^\circ$. Как и в случае инерционного звена, вектор ov АФЧХ интегрирующего звена, охваченного обратной связью, при $\omega \rightarrow \infty$ стремится к 90° .

Фактически такое изменение динамических свойств звена при охвате его обратной связью объясняется следующим образом.

На рис. 25, а приведены пример инерционного звена и соответствующая ему диаграмма прохождения сигнала, на которой видно, что при увеличении расхода на притоке $G_{пр}$ растет уровень H жидкости, увеличение уровня приводит к увеличению напора, с ростом напора увеличивается расход жидкости на сток $G_{ст}$. Рост $G_{ст}$ приводит к уменьшению скорости роста уровня H и является причиной того, что уровень сам устанавливается на новом значении (саморегулирование).

В диаграмме прохождения сигнала явно видна отрицательная обратная связь. Попробуем искусственно разорвать ее. Для этого установим на стоке насос, подача которого не зависит от напора. Подача такого насоса $G_{ст}$ не меняется с изменением уровня ($G_{ст} = \text{const}$), поэтому и в диаграмме прохождения сигнала этой связи нет (рис. 25, б). Если теперь из диаграммы прохождения сигнала исключить напор, который после разрыва обратной связи нас не интересует, то получим диаграмму прохождения

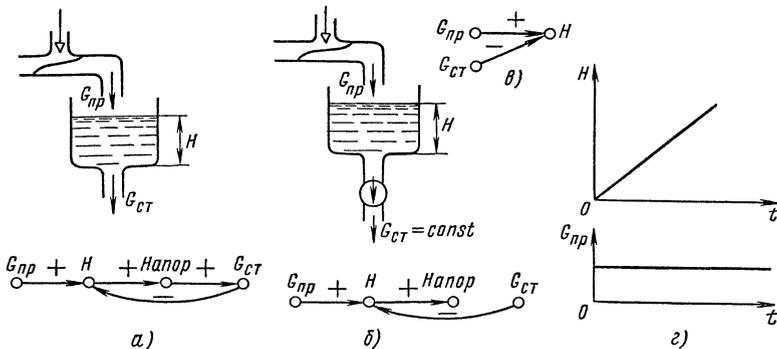


Рис. 25. Пример инерционного звена, образующегося в результате охвата интегрирующего звена внутренней обратной связью:

а — инерционное звено и диаграмма прохождения сигнала, б — разрыв внутренней обратной связи включением насоса на стоке и диаграмма прохождения сигнала, в — упрощенная диаграмма прохождения сигнала звена без самовыравнивания, г — временная характеристика звена без самовыравнивания

сигнала, приведенную на рис. 25, в. Из этой диаграммы видно, что уровень H зависит от расхода на притоке $G_{\text{пр}}$ и от расхода на стоке $G_{\text{ст}}$, действующих на уровень с разными знаками. Поэтому если $G_{\text{пр}} - G_{\text{ст}} \neq 0$, то уровень будет или расти, или уменьшаться с постоянной скоростью (рис. 25, г), как это имеет место в разгонных характеристиках интегрирующего звена.

Эффект действия рассмотренной нами внутренней обратной связи называется самовыравниванием на стоке. Существует самовыравнивание и на притоке, если уровень влияет на $G_{\text{пр}}$.

Обратной связью может быть охвачена и группа звеньев, соединенных и последовательно, и параллельно, и по смешанной схеме. В этом случае необходимо построить характеристики группы звеньев без учета обратной связи, а затем характеристики всей системы в целом.

Типовое звено может быть не только охваченным обратной связью, но и включенным в обратную связь. Для системы авторегулирования прямая цепь является каналом объекта регулирования (или сокращенно объектом регулирования), а звено в обратной связи — регулирующим устройством, или регулятором. Меняя звенья в обратной связи (меняя регуляторы) и их качественные и количественные характеристики, можно получить различные характеристики системы звеньев. Рассмотрим временные характеристики систем, содержащих в обратной связи различные типовые звенья (рис. 26).

Интегрирующее звено, охваченное обратной связью с безынерционным звеном (рис. 26, а). Динамические свойства такой системы аналогичны инерционному звену. Временная характеристика является экспонентой. Коэффициент усиления системы $\kappa = 1/\kappa_{0,c}$, а постоянная времени $T = 1/\epsilon\kappa_{0,c}$, где ϵ — коэффициент интегрирующего звена.

Обратим внимание на тот факт, что при увеличении коэффициента усиления обратной связи $\kappa_{0,c}$ коэффициент усиления системы и постоянная времени системы T уменьшаются.

Инерционное звено, охваченное безынерционной обратной связью (рис. 26, б). Разгонная характеристика инерционного звена по форме не изменяется после охвата ее безынерционной обратной связью, но, как и в первом случае (рис. 26, а), при неограниченном увеличении $\kappa_{0,c}$ разгонная характеристика системы приближается к характеристике безынерционного звена.

Безынерционное звено, охваченное безынерционной обратной связью (рис. 26, в). Характеристика звена после охвата обратной связью по форме не изменяется, но коэффициент усиления системы меняется в большом диапазоне в зависимости от $\kappa_{0,c}$.

Интегрирующее звено с интегрирующим звеном в обратной связи (рис. 26, г). В такой системе при любом возмущении на выходе возникают периодические незатухающие колебания. Периодические колебания сохраняются для любых значений коэффициента передачи звена ϵ_3 и коэффициента передачи обратной связи $\epsilon_{0,c}$; изменяются только частота и амплитуда колебаний. Здесь мы впервые сталкиваемся с основным недостатком систем с обратной связью. Эти системы при определенных условиях становятся генераторами периодических колеба-

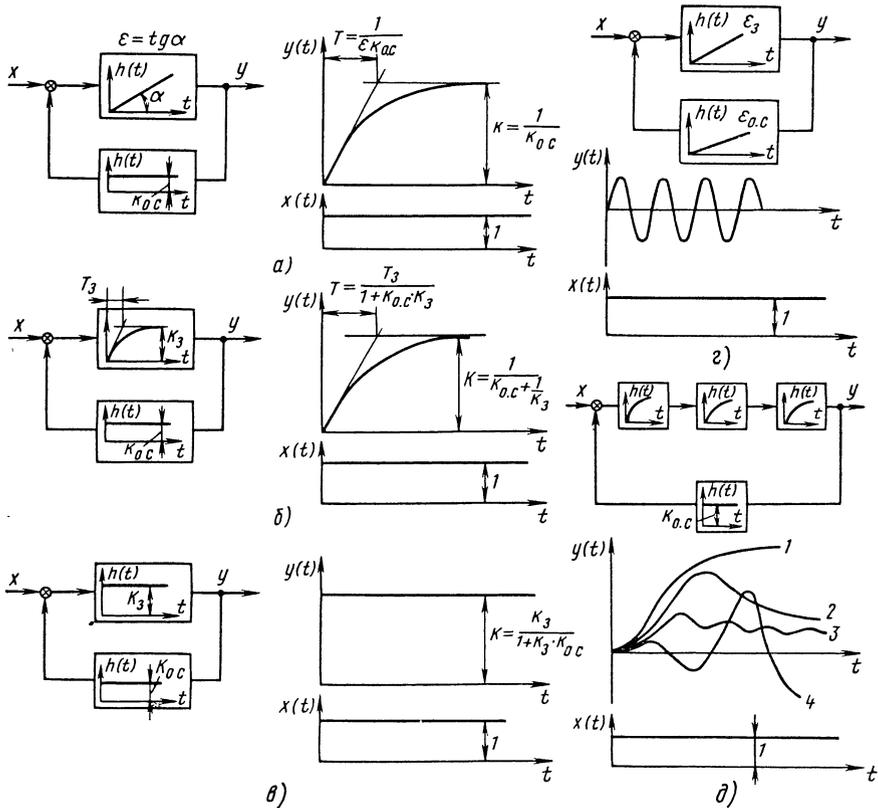


Рис. 26. Характеристики систем с обратной связью:

а — интегрирующее звено, охваченное безынерционной обратной связью, *б* — инерционное звено, охваченное безынерционной обратной связью, *в* — безынерционное звено, охваченное безынерционной обратной связью, *г* — интегрирующее звено, охваченное интегрирующей обратной связью, *д* — группа инерционных звеньев, охваченных безынерционной обратной связью

ний, т. е. эти системы склонны к самовозбуждению, к неустойчивости.

Изучению условий устойчивости замкнутых систем посвящена теория устойчивости, элементы которой будут рассмотрены в § 14.

Пример, приведенный на рис. 26, *д*, наиболее близок к условиям реальных систем авторегулирования. В примере рассмотрены три последовательных инерционных звена, охваченных безынерционной обратной связью с определенным k_{0c} . При изменении k_{0c} на выходе системы можно получать качественно различные друг от друга временные характеристики — переходные процессы (кривые 1, 2, 3, 4). При k_{0c} , равном или близком к нулю, мы получим временную характеристику разомкнутой системы (кривая 1). С увеличением k_{0c} переходный процесс становится колебательным (кривые 2 и 3). При дальнейшем увеличении k_{0c} переходный процесс становится расходящимся (кривая 4), или неустойчивым. Переходные процессы, близкие к кривым 1 и 2, называются аperiodическими

(непериодическими), переходный процесс, близкий к кривой 3, — периодическим (или колебательным).

Из примера видно, что регулятор далеко не всегда стабилизирует процесс. При некоторых значениях $k_{o,c}$ он может устойчиво работающую без регулятора разомкнутую систему привести к расходящимся колебаниям.

Во многих технологических процессах, особенно химических, при отклонении регулируемых параметров за допустимые значения не только нарушается технологический процесс и ухудшается качество продукта, но и возникает опасность взрыва, поэтому обеспечение устойчивости системы авторегулирования обязательно для каждого налаживаемого регулятора. Это одно из главных требований к системам авторегулирования, которое должно быть обеспечено качеством наладки.

Глава V

ОБЪЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ И ТИПОВЫЕ ЗАКОНЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

§ 12. Характеристики объектов управления

По внешнему виду наиболее распространенные временные характеристики объектов можно классифицировать по двум видам — характеристикам с самовыравниванием и без самовыравнивания, причем и те и другие рассматриваются для одно- и многоемкостных объектов.

Природу самовыравнивания и вид характеристик с самовыравниванием мы рассматривали в § 10 и 11 при изучении динамических характеристик звеньев систем авторегулирования. Одноемкостные объекты представляют собой одно типовое звено, многоемкостные — несколько типовых звеньев, включенных по последовательной, параллельной или смешанной схеме.

Одноемкостное звено с самовыравниванием (рис. 27, а) представляет собой характеристику инерционного звена, поэтому основные параметры

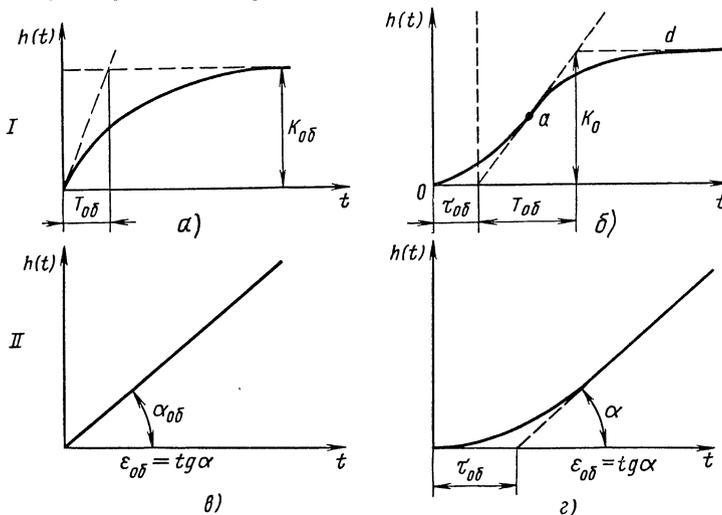


Рис. 27. Типовые временные характеристики одно- (а, б) и многоемкостных (в, г) объектов с самовыравниванием (I) и без самовыравнивания (II)

характеристики, необходимые для настройки регулятора на процесс (коэффициент усиления объекта $\kappa_{об}$ и постоянная времени объекта $T_{об}$), определяют так же, как и для инерционного звена (см. § 9).

Характеристика *многоемкостного объекта с самовыравниванием* (рис. 27, б) имеет точку перегиба a . На участке oa кривая вогнутая, а на участке ad выпуклая. К точке перегиба кривой проводят касательную, которая на оси t отсекает отрезок $\tau_{об}$.

Постоянную времени объекта $T_{об}$ определяют как проекцию касательной на ось времени. Таким построением характеристика приводится к характеристике двух последовательно соединенных звеньев — транспортного запаздывания и инерционного звена. Говорят, что характеристика объекта аппроксимируется (заменяется) характеристикой звеньев транспортного запаздывания и инерционного.

Характеристика *одноремкостного объекта без самовыравнивания* (рис. 27, в) является характеристикой интегрирующего звена. Единственный параметр характеристики $\epsilon_{об}$ равен $t_{га}$. *Многоемкостный объект без самовыравнивания* (рис. 27, г) аппроксимируется характеристикой последовательно включенных звеньев транспортного запаздывания и интегрирующего звена. Определение основных параметров характеристики $\tau_{об}$ и $\epsilon_{об}$ видно из построения касательной.

Частотные характеристики типовых многоемкостных объектов, аппроксимированных элементарными звеньями, совпадают с частотными характеристиками схем соединений соответствующих звеньев (см. табл. 3). Многоемкостному объекту с самовыравниванием соответствуют частотные характеристики последовательно включенных инерционного звена и звена транспортного запаздывания. Многоемкостному объекту без самовыравнивания соответствуют характеристики последовательно включенных звеньев — транспортного запаздывания и интегрирующего.

При проведении пусконаладочных работ типы характеристик объектов управления и их параметры определяют опытным путем. Для получения временных характеристик на вход объекта подают возмущение и фиксируют изменение во времени регулируемой величины. Чтобы получить сопоставимые результаты, форма входного возмущения должна быть определенного вида (синусоида, прямоугольная волна, ступенчатое изменение входной величины). На практике при снятии характеристик чаще всего применяют в качестве возмущения ступенчатое изменение входной величины. Для получения возмущения такой формы клапан быстро переставляют в новое положение (см. § 10) и наблюдают характер изменения уровня. Результаты наблюдения обычно оформляют в виде таблиц или графиков: через равные промежутки времени (отсчитывают по секундомеру, включенному в момент перестановки клапана) записывают значения регулируемой величины. Если измерительный прибор является одновременно и регистрирующим, график получают непосредственно на диаграмме прибора.

При снятии характеристик на действующих объектах могут изменяться условия, влияющие на результат опыта (изменение давления воды после насосов, изменение $G_{ст}$ в результате подключения потребителей или изменения режима горения). Поэтому, чтобы получить достоверные характеристики, их снимают многократно. Если при снятии характеристик

числовое значение перемещения клапана Δd было неодинаковым, то результирующие характеристики приводят к одному значению перемещения клапана. Например, если полученные в результате опыта изменения регулируемых величин были определены при перемещении клапана на 5;7 и 10 % от его полного перемещения, то для приведения характеристик к возмущению Δd , равному, например, 10%, ординаты значений H умножают в первом опыте на 2, а во втором — на 1,43.

После приведения характеристик к выбранному значению возмущения их строят на тех же осях координат и определяют усредненную характеристику $h(t)_{\text{усред}}$ (рис. 28). Для определения значения усредненной характеристики в точке, например, 30 мин складывают ординаты характеристик a , b и v в точке 30 мин и определяют

$$h(t)_{\text{усред } 30} = [h(t)_{30,a} + h(t)_{30,b} + h(t)_{30,v}] / 3 = (0,28 + 0,31 + 0,46) / 3 = 0,36 \text{ м.}$$

Достоверность результатов опыта, т. е. соответствие полученной характеристики истинному ее виду, будет тем большей, чем больше опытов будет произведено.

Полученную в результате опытов характеристику сравнивают с типовыми (см. рис. 27) и определяют тип объекта управления, а затем его параметры. В рассмотренном примере форма $h(t)_{\text{усред}}$ ближе всего к характеристике одноемкостного объекта (см. рис. 27, а), из чего делают вывод, что участок регулирования уровня — одноемкостный объект с самовыравниванием, а его параметры $T_{об} = 25$ с (см. рис. 28) и $K_{об} = \Delta A / \Delta d = 4,5$.

Необходимо учитывать, что полученные значения $T_{об}$ и $K_{об}$ будут справедливы только для определенного значения $G_{ст}$ или, как говорят, для фиксированной нагрузки. Если к резервуару (см. рис. 8, а) подключить большее число потребителей, то нагрузка возрастет ($G_{ст}$ увеличится) и изменение $G_{пр}$ приведет к меньшему приращению H , а рост этого приращения будет замедленным.

Для большинства типовых объектов при увеличении нагрузки $K_{об}$ уменьшается, а $T_{об}$ растет.

При высоком уровне помех, т. е. когда они возникают часто и имеют амплитуду, соизмеримую с амплитудой временных характеристик, снимают частотные характеристики.

В них легче отстроиться от помех, так как период колебаний всегда постоянный. Процесс снятия частотных характеристик сложнее снятия разгонных характеристик, но обработка их проще. Обработать частотную характеристику — это значит определить амплитуды выходных колебаний.

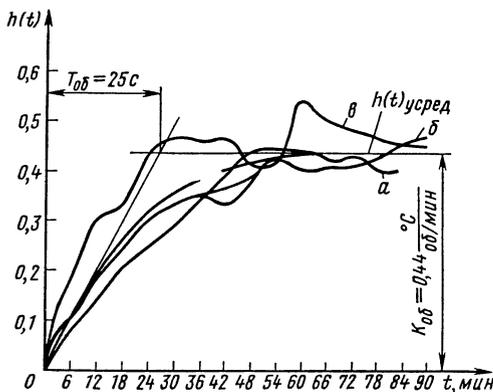


Рис. 28. Временные характеристики, искаженные помехами, и усредненная

На рис. 29, а приведены графики частотной характеристики, соответствующей сдвигу по фазе $\varphi = 180^\circ$ (см. § 8). Опыт проводят следующим образом. Сначала наносят возмущение амплитудой d , а в момент, когда выходной параметр G_v начинает отклоняться от исходного значения, прикладывают возмущение с обратным знаком и амплитудой, равной $2d$. Поскольку знак возмущения изменился, выходной (регулируемый) параметр через некоторое время тоже начнет уменьшаться, но в момент, когда регулируемый параметр опять станет равным исходному значению, знак возмущения опять изменяют на противоположный, но амплитуду при этом выдерживают равной $2d$. Такую раскачку продолжают до возникновения установившихся периодических колебаний.

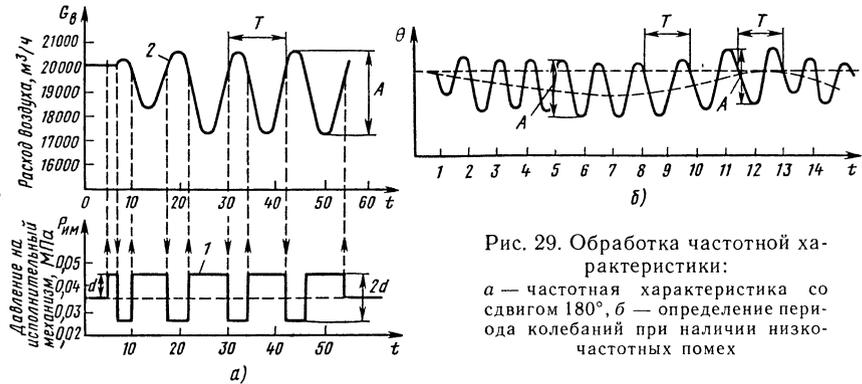


Рис. 29. Обработка частотной характеристики:
 а — частотная характеристика со сдвигом 180° , б — определение периода колебаний при наличии низкочастотных помех

При наличии помех вид переходного процесса искажается (рис. 29, б): меняются симметричность периода T , среднее значение колебаний (пунктирная линия) A , как это видно на рисунке, однако и период T , и амплитуда сохраняются довольно стабильно. В крайнем случае, если помехи сильные, можно из нескольких значений T и A получить среднеарифметическое.

§ 13. Типовые законы автоматического регулирования

Для автоматизации технологических процессов отечественная промышленность выпускает три типа регуляторов (электрические, пневматические и гидравлические), но законов регулирования, на которых они основаны, пять: пропорциональный, интегральный, пропорционально-интегральный, позиционный и пропорционально-интегрально-дифференцирующий.

Пропорциональный закон регулирования (П-закон). Перемещение x_p регулирующего органа (рис. 30, а) пропорционально отклонению регулируемой величины y от заданного значения y_3 , т. е. пропорционально рассогласованию y_p . Сигнал на выходе регулятора $x_p = \kappa_p y_p = \kappa_p (y - y_3)$, где κ_p — коэффициент усиления регулятора.

Регулятор, осуществляющий П-закон регулирования, называется пропорциональным регулятором (П-регулятором). Динамические ха-

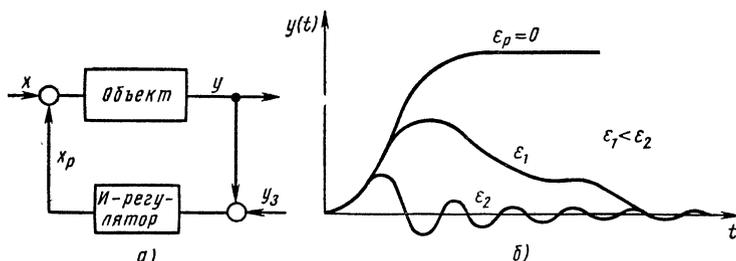


Рис. 30. Пропорциональный регулятор:

а — структурная схема, б — переходные процессы в замкнутой системе с П-регулятором

характеристики П-регулятора однозначно соответствуют характеристикам безынерционного звена (см. § 12).

С изменением k_p изменяются динамические свойства и характеристики замкнутой системы. Если $k_p = 0$, т. е. обратная связь разорвана, то при ступенчатом изменении x регулируемая величина будет изменяться по кривой, соответствующей разгонной характеристике объекта (рис. 30, б). При увеличении коэффициента усиления регулятора до k_{p1} установившееся значение кривой разгона уменьшится и станет равным Δ_1 , до k_{p2} отклонение регулируемой величины от заданной будет уменьшаться (Δ_2). При увеличении до k_{p3} переходный процесс регулируемой величины приобретает колебательный характер, но по окончании переходного процесса регулируемая величина всегда не равна заданной — существует некоторая ошибка ($\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$), получившая название *статической ошибки регулирования*. Физическая природа статической ошибки наглядно видна при рассмотрении регуляторов прямого действия (см. рис. 3). Перемещение регулирующего органа в таком регуляторе возможно только за счет отклонения регулируемой величины, которое и образует статическую ошибку.

Статическая ошибка — отличительная особенность П-регуляторов и главный их недостаток, так как в реальных условиях при частых изменениях нагрузок и других возмущениях система с П-регулятором не выдерживает точно заданной величины.

Однако в системах с П-регулятором благодаря его безынерционности обеспечивается незначительное отклонение регулируемой величины в начале переходного процесса (динамическая ошибка) (рис. 30, б). Другими словами, П-регулятор может обеспечить незначительные динамические ошибки при наличии статической ошибки.

Избавиться от статической ошибки регулирования можно, используя регулятор, обладающий свойствами интегрирующего звена, — интегральный регулятор.

Интегральный закон регулирования (И-закон). Скорость перемещения регулирующего органа таким регулятором пропорциональна отклонению регулируемой величины от ее заданного значения (пропорциональна рассогласованию).

Регулятор, осуществляющий И-закон регулирования, называется интегральным регулятором (И-регулятором). Динамические характеристики И-регулятора однозначно соответствуют характеристикам интегрирующе-

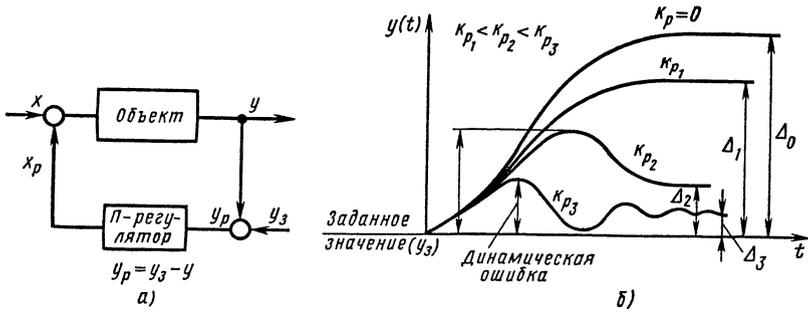


Рис. 31. Интегральный регулятор:

а — структурная схема, б — переходные процессы в замкнутой системе с И-регулятором

го звена (см. § 12). Поэтому угол наклона временной характеристики регулятора (интегрирующего звена) пропорционален возмущению. Коэффициент пропорциональности И-регулятора $\epsilon_p = \text{tg}\alpha$, где α — угол наклона временной характеристики регулятора.

Коэффициент ϵ_p (рис. 31) — единственный параметр настройки И-регулятора. Если $\epsilon_p \neq 0$, то даже при незначительных отклонениях регулируемой величины сигнал на выходе регулятора со временем может достичь любого значения. Поэтому И-регулятор будет перемещать регулирующий орган системы до тех пор, пока отклонение регулируемой величины от заданного значения не станет равным нулю.

И-регулятор обеспечивает устойчивую работу только на объектах с самовыравниванием. При установке И-регулятора на объекте без самовыравнивания переходный процесс будет иметь вид незатухающих периодических колебаний, как и в случае охвата интегрирующего звена отрицательной обратной связью с интегрирующим звеном (см. рис. 26, з). На объектах с самовыравниванием И-регуляторы обеспечивают устойчивую работу, однако системы с И-регулятором всегда более склонны к колебательным переходным процессам.

И-регулятор не имеет статической ошибки регулирования, поскольку выход регулятора будет расти при любом малом значении рассогласования. Таким образом, в отличие от системы с П-регулятором системы с И-регулятором не имеют статической ошибки, но динамическая ошибка в этих системах большая. Это объясняется тем, что в начальный момент И-регулятор еще не успевает из-за своих инерционных свойств выработать значительный выходной сигнал.

Нетрудно заметить, что П-регулятор обеспечивает хорошее регулирование в начальной части переходного процесса благодаря своей безынерционности, но допускает статические ошибки. И-регулятор, наоборот, обеспечивает хорошее регулирование в конце процесса (без статической ошибки), но допускает большие динамические ошибки. Поэтому, очевидно, представляет интерес объединить достоинства обоих регуляторов, включив в обратную связь одновременно пропорциональное и интегрирующее звенья (рис. 32, а).

Пропорционально-интегральный закон регулирования. Диапазон и скорость перемещения регулирующего органа пропорциональны откло-

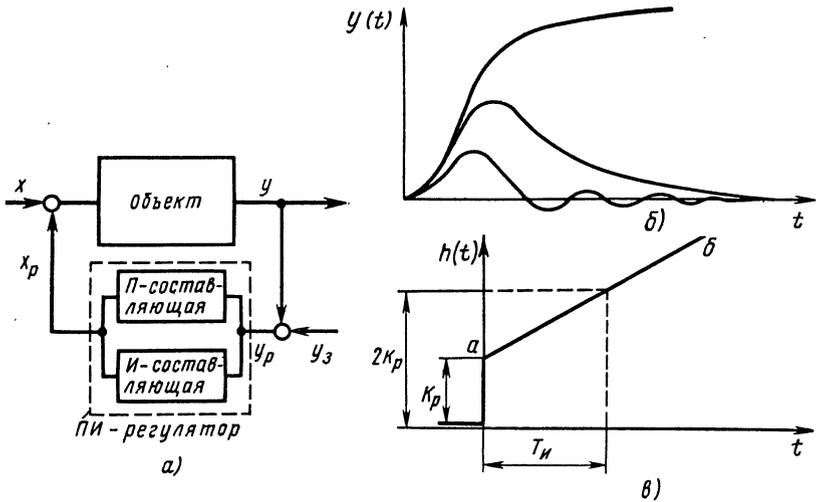


Рис. 32. Пропорционально-интегральный регулятор: а — структурная схема, б — переходные процессы в замкнутой системе, в — временная характеристика ПИ-регулятора

нению регулируемой величины от ее заданного значения (пропорциональному рассогласованию).

Регулятор, осуществляющий ПИ-закон регулирования, называется пропорционально-интегральным (ПИ-регулятором). Динамические характеристики ПИ-регулятора однозначно соответствуют характеристикам параллельного соединения безынерционного и интегрирующего звеньев.

Временная характеристика ПИ-регулятора приведена на рис. 32, в. Скачок характеристики при $t=0$ обусловлен пропорциональной частью регулятора (пропорциональная составляющая) и равен коэффициенту усиления регулятора K_p . Время, за которое пропорциональная составляющая удваивается за счет интегральной составляющей на участке ab , называется временем интегрирования $T_{И}$. Коэффициент усиления и время интегрирования являются основными параметрами настройки ПИ-регулятора с учетом динамических свойств объекта.

Сочетание свойств пропорционального и интегрального регуляторов обеспечивает более высокое качество регулирования. Система с ПИ-регулятором не имеет статической ошибки (рис. 32, б), а динамическая ошибка меньше, чем в системе с И-регулятором. Кроме того, ПИ-регулятор обеспечивает устойчивую работу на объектах без самовыравнивания, так как пропорциональная составляющая, охватывающая объект обратной связью, создает эффект самовыравнивания.

Широкое применение ПИ-регуляторов обусловлено еще и тем, что на них могут быть реализованы П- и И-законы регулирования, а кроме того, и позиционный закон регулирования, при котором регулятор имеет характеристику релейного элемента (две позиции — «Открыто» и «Закрыто»).

Если на ПИ-регуляторе установить большое значение времени интегрирования ($T_{И} \rightarrow \infty$), то характеристика регулятора примет вид времен-

ной характеристики П-регулятора. Если установить $\kappa_p = 0$, то регулятор будет реализовывать И-законы регулирования.

Если для ПИ-регулятора принять $T_i = 0$, а $\kappa_p \rightarrow \infty$, то выходной сигнал регулятора при любом самом малом возмущении сразу перейдет в крайнее положение, т. е. или полностью открывает регулирующий орган, или полностью его закрывает. Характеристика регулятора становится такой же, как у релейного элемента, имеющего только два устойчивых состояния — открыто и закрыто (позиционный закон регулирования).

Целесообразность применения П- и ПИ-регуляторов для управления инерционными объектами уменьшается по мере увеличения $\tau_{об}$, потому что для таких объектов информация о значении регулируемой величины, получаемая от измерительной системы, будет запаздывать по отношению к регулирующему воздействию тем больше, чем больше $\tau_{об}$, и в момент, когда положение клапана соответствует заданному значению регулируемой величины, на входе регулятора еще будет существовать отклонение и регулятор будет продолжать перемещать клапан от положения равновесия. В момент, когда регулируемая величина достигнет заданного значения и регулятор прекратит перемещение клапана, последний окажется в положении, не соответствующем равновесному состоянию, и регулируемая величина, перейдя через заданное значение, будет продолжать изменяться до тех пор, пока регулятор не прекратит ее изменение перестановкой клапана в противоположную сторону. Отклонение регулируемой величины от заданного значения будет тем больше, чем больше запаздывание, и при достаточно больших $\tau_{об}$ осуществлять регулирование с помощью П- и ПИ-регуляторов становится невозможным.

Для таких объектов применяют устройства с пропорционально-интегрально-дифференциальным законом регулирования — ПИД-регуляторы. ПИД-регуляторы перемещают регулирующий орган не только по отклонению регулируемой величины от заданного значения, но и по скорости изменения этого отклонения. Например, для управления многомерным объектом (см. рис. 27, б) к сигналам пропорциональной и интегральной составляющих при ПИД-законе регулирования будет добавлено дополнительное воздействие. Максимальное значение этого воздействия будет соответствовать начальному участку $h(t)$, где крутизна характеристики изменяется с максимальной скоростью. Поэтому несмотря на малое абсолютное отклонение регулируемой величины клапан переместится в сторону компенсации отклонения, как бы предвзяв последующие отклонения регулируемой величины. На линейном участке характеристики, когда скорость изменения регулируемой величины постоянна, воздействие Д-составляющей равно 0, а на участке, где крутизна характеристики начинает уменьшаться, воздействие Д-составляющей становится противоположным по знаку воздействиям П- и И-составляющих. Устройства, обеспечивающие управление по ПИД-закону, иногда называют пропорционально-интегральными регуляторами с предварением.

§ 14. Критерий устойчивости АСР

Перед включением системы в режим автоматического регулирования динамические характеристики регулятора настраивают на динамические характеристики объекта установкой k_p и T_n , которые выбирают из условия устойчивости замкнутой системы и оптимальности переходного процесса регулируемого параметра.

При некоторых условиях система авторегулирования вместо обеспечения стабилизации технологических параметров и компенсации возмущений может начать их усиливать, тогда переходный процесс становится расходящимся, неустойчивым. Первые работы по исследованию устойчивости систем автоматического регулирования принадлежат русскому ученому А. М. Ляпунову.

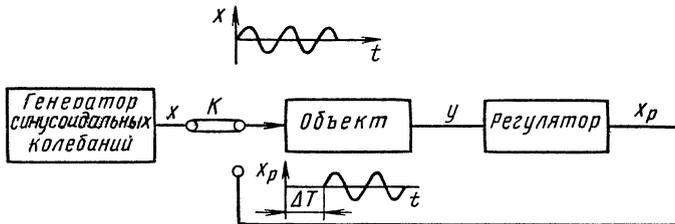
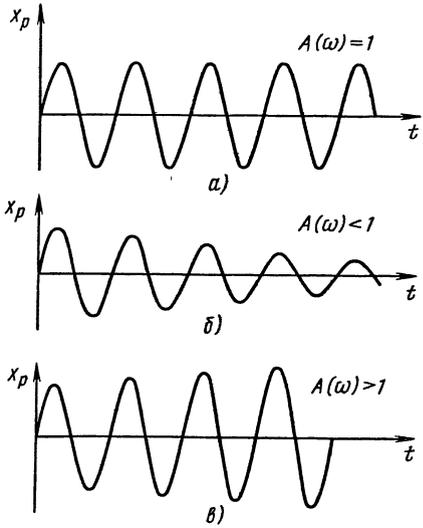


Рис. 33. Критерий устойчивости

Для пояснения физической сущности критерия устойчивости системы можно провести следующий опыт. К объектам регулирования (рис. 33) подключают генератор синусоидальных колебаний и через некоторое время на выходе объекта установятся периодические колебания с тем же периодом. Увеличением частоты генератора добиваются, чтобы сдвиг между входными x и выходными y колебаниями стал равным 180° . Если в качестве регулятора выбран П-регулятор, то колебания на его выходе x_p будут смещены относительно y тоже на 180° , так как П-регулятор формирует управляющий сигнал, находящийся в противофазе с входным. Таким образом, на выходе регулятора колебания x_p будут точно совпадать по фазе с входными.

Затем, изменяя k_p так, чтобы амплитуды x_p и x совпали, ключом K замыкают систему. Поскольку в период переключения выходное воздействие регулятора совпало по направлению и значению с выходным сигналом генератора, объект будет продолжать периодическое движение с теми же частотой и амплитудой. Эти незатухающие колебания возникли, потому что при угловом сдвиге 180° коэффициент усиления системы $A(\omega)$ равен 1 (рис. 34, а). Если уменьшить k_p (по сравнению со значением, при котором x_p и x совпали), то на вход x будут поступать колебания x_p с меньшей амплитудой, в результате уменьшится амплитуда колебаний y (см. рис. 33), что вызовет еще большее уменьшение x_p , и колебания в системе прекратятся. При увеличении k_p по сравнению со значением, при котором

Рис. 34. Переходные процессы вблизи границы устойчивости:
a — граница устойчивости, *б* — затухающий переходный процесс, *в* — расходящийся неустойчивый переходный процесс



x_p и x совпали, $A(\omega)$ станет больше 1, на вход x будут подаваться периодические колебания x_p с возрастающей амплитудой (рис. 34, в) и колебания y на выходе объекта будут расходящимися. Частота входных колебаний, при которых угловой сдвиг выходных колебаний составляет 180° , называется критической и обозначается $\omega_{кр}$. Если коэффициент усиления АСР на критической частоте $A(\omega_{кр}) < 1$, то система называется устойчивой. Если $A(\omega_{кр}) > 1$, то система неустойчива, а при $A(\omega_{кр}) = 1$ система находится на границе устойчивости.

На АЧХ будут влиять и изменения параметров объекта. Например, если устойчивые колебания возникли при $A(\omega_{кр}) = 1$, то уменьшение нагрузки, приводящее к увеличению коэффициента усиления АСР, так же приведет к появлению расходящихся колебаний y на выходе объекта. Поэтому настройки регулятора при проведении пусконаладочных работ должны быть выбраны таким образом, чтобы АСР была устойчивой при всех технологических режимах.

Итак, замкнутая система автоматического регулирования будет находиться на границе устойчивости, если в разомкнутой системе сдвиг по фазе между входными и выходными колебаниями составляет 180° ($\varphi(\omega) = 180^\circ$) и отношение амплитуд равно единице ($A(\omega) = 1$).

Рассмотрим эти условия на графиках АФЧХ (см. § 8). Для построения точки частотной характеристики разомкнутой системы, соответствующей границе устойчивости замкнутой системы, построим вектор из начала координат под углом 180° (рис. 35, а), абсолютная длина которого равна 1. Конец вектора лежит на отрицательной вещественной полуоси, его координаты: $-1; 0$.

На рис. 35, б приведены АФЧХ трех разомкнутых систем, АФЧХ1 не охватывает точку с координатами $(-1, 0)$ и соответствует устойчивой системе. АФЧХ2 проходит через критическую точку -1 на вещественной оси, имеющая такую частотную характеристику, после замыкания окажется на границе устойчивости. АФЧХ3 охватывает точку с координатами $-1, 0$; такая система после замыкания будет неустойчивой. Это правило — критерий устойчивости Найквиста — Михайлова, — имеет следующую формулировку: *если амплитудно-фазовая частотная характеристика разомкнутой системы не охватывает точки с координатами $-1; 0$, то после замыкания этой системы отрицательной обратной связью она будет устойчива.*

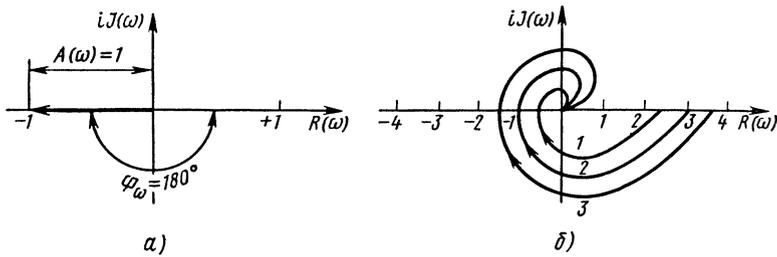


Рис. 35. Амплитудно-фазовые характеристики разомкнутой системы: *а* — АФЧХ системы на границе устойчивости, *б* — АФЧХ устойчивой системы (1), на границе устойчивости (2) и неустойчивой системы (3)

Критерий Найквиста — Михайлова позволяет судить об устойчивости АСР еще до ее замыкания на объектах (по экспериментальным частотным характеристикам) и используется для определения $\epsilon_{об}$ и $\tau_{об}$ — основных параметров объектов без самовыравнивания (см. § 12), не прибегая к снятию временных характеристик.

Для определения $\epsilon_{об}$ и $\tau_{об}$ приведем регулятор к П-закону регулирования ($T_n \rightarrow \infty$) (см. § 13). Замкнем систему с минимально возможным κ_p . Если система работает устойчиво после замыкания, то постепенным увеличением κ_p добьемся того, чтобы в системе возникли незатухающие периодические колебания, т. е. выведем систему на границу устойчивости, после чего определим период колебаний $T_{кр}$ и $\omega_{кр}$, т. е. критическую частоту, при которой система находится на границе устойчивости, а затем

$$\epsilon_{об} = \frac{\omega_{кр}}{\kappa_{p\ кр}}, \quad \tau_{об} = \frac{\pi}{2\omega_{кр}},$$

где $\kappa_{p\ кр}$ — критический коэффициент усиления регулятора, при котором система вышла на границу устойчивости.

§ 15. Переходные процессы. Показатели качества переходных процессов

Устойчивые переходные процессы. Обеспечение устойчивости АСР является необходимым, но недостаточным условием настройки системы авторегулирования. В зависимости от выбранных параметров настройки вид переходных процессов замкнутых систем авторегулирования существенно меняется. На рис. 36, *а* кривая 1 соответствует разгонной характеристике разомкнутой системы. Включение ПИ-регулятора даже при небольших значениях κ_p всегда за счет интегральной составляющей полностью компенсирует возмущение (кривые 2 и 3). Дальнейшее увеличение κ_p и уменьшение T_n позволят получить колебательный переходный процесс (кривая 4).

Переходные процессы, изображенные кривыми 1, 2 и 3, называются аperiodическими, переходный процесс, изображенный кривой 4, — периодическим или колебательным. Все четыре переходных процесса отличны друг от друга. Основные показатели качества переходного процесса:

статическая ошибка регулирования (см. § 13);

динамическая ошибка A_1 (максимальное отклонение регулируемой величины при ступенчатом возмущении) (рис. 36, б);

длительность переходного процесса $T_{п.п}$ (рис. 36, а);

степень затухания периодических переходных процессов (рис. 36, д).

Степень затухания переходного процесса $\psi = (A_1 - A_2)/A_1$, где A_1 и A_2 — первый и второй максимумы характеристики (рис. 36, б).

С изменением параметров настройки регулятора степень затухания переходного процесса может меняться от 0 до 1; она равна 0, когда система находится на границе устойчивости (рис. 36, в), и 1 — для аperiodических переходных процессов 2 и 3 (рис. 36, а и д). Чаще всего переходные процессы рассматривают при возмущениях со стороны регулирующего органа — возмущения по основному каналу. Но при возмущениях по заданию (рис. 36, г), которые практически иногда легче осуществить, показатели качества определяют аналогично (рис. 36, б).

С изменением параметров настройки регуляторов показатели качества переходного процесса меняются по-разному. С увеличением k_p (рис. 36, д) динамическая ошибка уменьшается $A_3 > A_4 > A_5$, степень затухания уменьшается

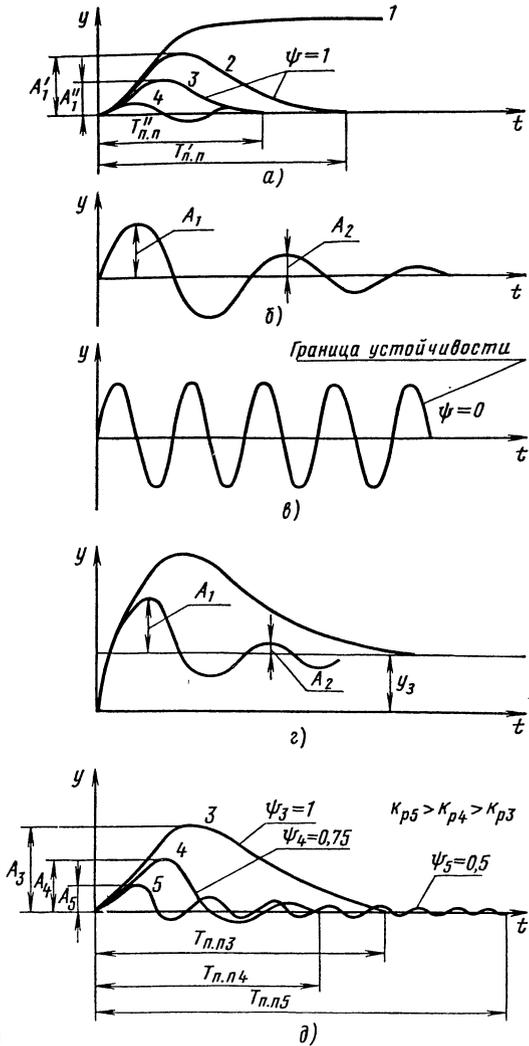


Рис. 36. Основные показатели качества переходных процессов:

а — изменение переходного процесса при изменении параметров настройки регуляторов, б — определение коэффициента затухания, в — переходный процесс с коэффициентом затухания $\psi = 0$, г — переходные процессы при возмущении по заданию, д — изменение показателей качества при увеличении k_p ; 1 — разгонная характеристика, 2, 3 — аperiodический переходный процесс, 4 — периодический переходный процесс, 5 — переходный процесс с малым коэффициентом затухания

$\psi_3 > \psi_4 > \psi_5$, длительность переходного процесса сначала уменьшается $T_{п.п3} > T_{п.п4}$, затем начинает опять расти $T_{п.п5} > T_{п.п4}$.

С уменьшением T_n показатели меняются аналогично тому, как они менялись при изменении k_p , но ψ уменьшается значительно скорее. Статическая ошибка при увеличении k_p уменьшается, а при введении интегральной составляющей исчезает совсем.

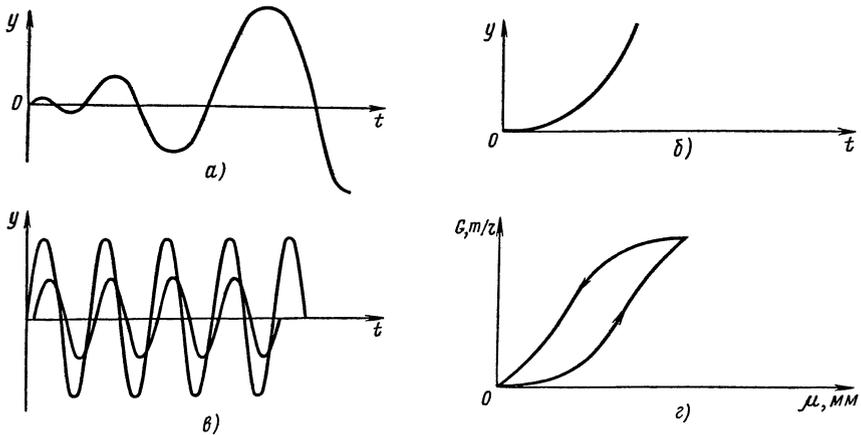


Рис. 37 Неустойчивые (а, б) и автоколебательный (в) переходные процессы и характеристика регулирующего органа с люфтом (г)

Неустойчивые переходные процессы. Наиболее распространены два вида переходных процессов неустойчивых систем: неколебательный (рис. 37, а) и расходящийся колебательный (рис. 37, б). Неколебательный неустойчивый переходный процесс бывает в случае, когда неправильно выбран знак обратной связи и регулятор осуществляет положительную обратную связь, а не отрицательную. Переходный процесс системы, находящейся на границе устойчивости, практически тоже нельзя считать устойчивым, так как незначительное изменение характеристики объекта делает систему неустойчивой.

Переходный процесс на границе устойчивости необходимо отличать от режима автоколебаний (рис. 37, в). При изменении параметров настройки регулятора системы, находящейся на границе устойчивости, переходный процесс начинает или затухать, или расходиться. Режим автоколебаний при изменении настроек регулятора сохраняется, меняются только амплитуда и частота автоколебаний.

Основной причиной возникновения автоколебаний является наличие люфта в механизме регулирующего органа. Для обнаружения люфта снимают статическую характеристику регулирующего органа. Меняя его ход (рис. 37, г), измеряют и записывают расход G через регулирующий орган (клапан). При прямом ходе клапана (открытие) и обратном (закрытие) характеристики не совместятся, образовав петлю (люфт).

§ 16. Критерии выбора оптимальных параметров настройки

Оптимальными параметрами настройки замкнутой системы автоматического регулирования называются значения коэффициента усиления регулятора κ_p и времени интегрирования $T_{и}$, при которых переходный процесс удовлетворяет одному из следующих критериев: степень затухания $\psi=0,9$ или $0,75$; площадь под кривой переходного процесса минимальна.

Наиболее общим критерием оптимальности, получившим широкое распространение, является критерий минимума площади под кривой переходного процесса (на рис. 38 — заштрихованная площадь).

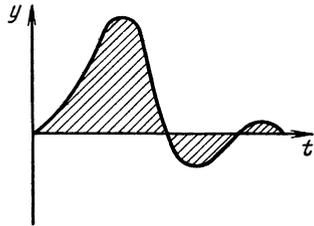


Рис. 38. Оценка качества периодического переходного процесса по площади

Физически площадь под кривой переходного процесса будет определяться отклонением регулируемой величины от заданного значения и временем, в течение которого это отклонение существует. Когда для технологического процесса важна стабилизация регулируемой величины в течение заданного времени, в качестве критерия оптимальности выбирают степень затухания переходного процесса. В большинстве других случаев оптимальными считаются настройки, при которых площадь под кривой переходного процесса (динамическая ошибка АСР) минимальна. Как уже отмечалось (см. рис. 36, д), с уменьшением динамической ошибки $T_{п.п}$ растет. Оптимальный переходный процесс требует минимизации одновременно динамической ошибки и $T_{п.п}$. Минимизация площади переходного процесса позволяет объединить эти два показателя качества переходного процесса в один — минимум площади.

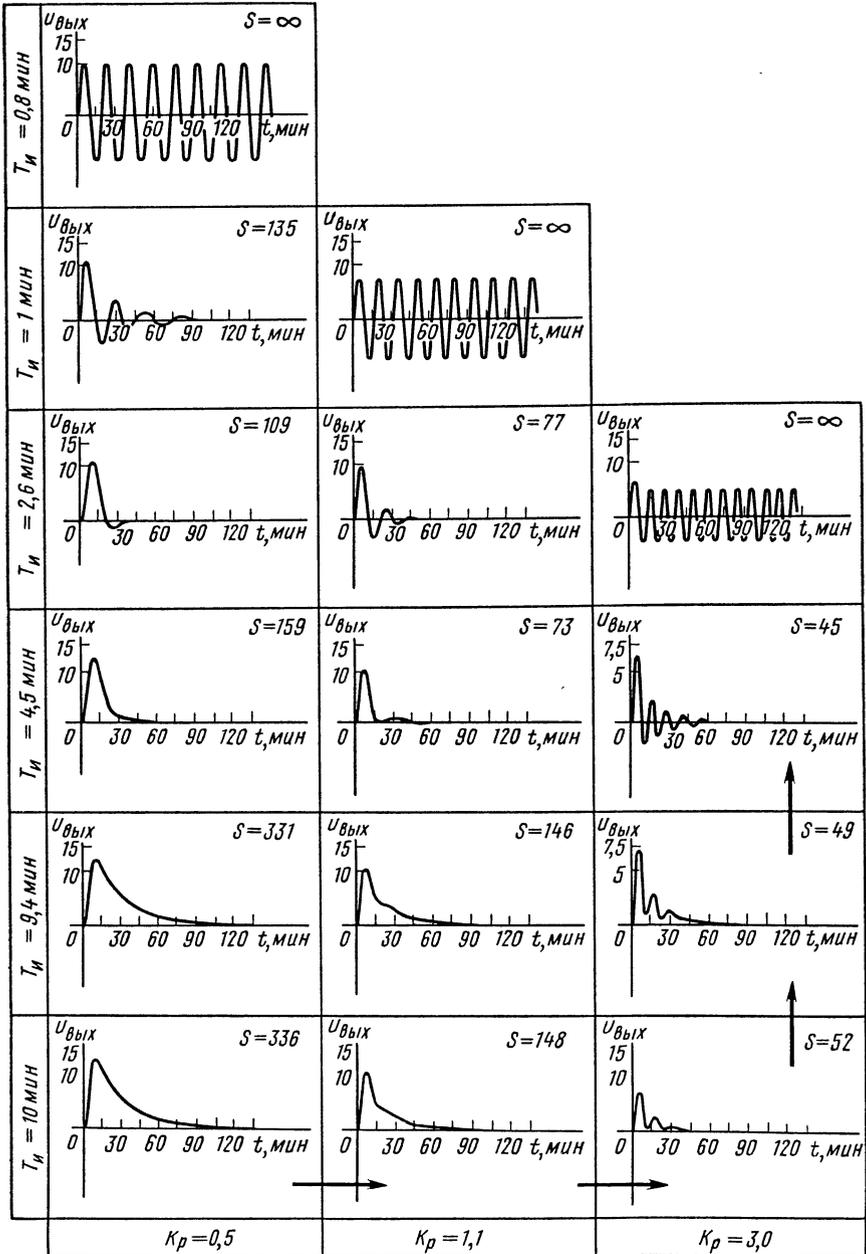
На рис. 39 даны переходные процессы системы с ПИ-регулятором в плоскости параметров настройки системы κ_p и $T_{и}$. Из рисунка видно, что при постоянном значении $T_{и}$ (например, $T_{и}=10$ мин) и увеличении κ_p ($\kappa_p=0,5; 1,1; 3; 5; 6,8$) переходный процесс меняется от аperiodического (при $\kappa_p=0,5; 1,1$) до границы устойчивости ($\kappa_p=6,8$).

При этом площадь S под кривой переходного процесса сначала уменьшается от 336 до 52, а затем снова увеличивается: $S=56; S=\infty$. Аналогично меняется площадь и при уменьшении времени $T_{и}$ (от 10 до 0,8 мин) и неизменном κ_p . Например, при $\kappa_p=0,5$ площадь S уменьшается с 336 до 109, а затем увеличивается со 109 до 135, а при $T_{и}=0,8$ мин $S=\infty$.

Оптимальные параметры настройки $\kappa_{p, \text{опт}}$ и $T_{и, \text{опт}}$ соответствуют переходному процессу с минимальной площадью. В нашем примере минимальная площадь (45) получена при настройках $\kappa_{p, \text{опт}}=3; T_{и, \text{опт}}=4,5$ мин.

Динамической настройкой системы автоматического регулирования называется выбор оптимальных параметров настройки ($\kappa_{p, \text{опт}}$ для П-регулятора; $\varepsilon_{p, \text{опт}}$ для И-регулятора; $\kappa_{p, \text{опт}}$ и $T_{и, \text{опт}}$ для ПИ-регулятора), обусловленный динамическими свойствами объекта регулирования.

Оптимальные параметры настройки (ОПН) выбирают тремя методами: организованного поиска ОПН на объекте; расчетными по временным и частотным характеристикам объекта; алгоритмическим.



Метод организованного поиска. Метод организованного поиска применяют для систем, допускающих внесение больших возмущений. Поиск осуществляют по одному из известных критериев качества переходного процесса (см. § 16) последовательным изменением параметров настройки κ_p и T_n (метод последовательного изменения настроек).

Последовательность поиска следующая.

1. При максимальном значении T_n в несколько приемов увеличивают κ_p . И при каждом новом значении κ_p фиксируются кривые переходного процесса, по которым определяют площадь переходного процесса или другой критерий качества. Фиксируют значение κ_p , соответствующее минимальной площади.

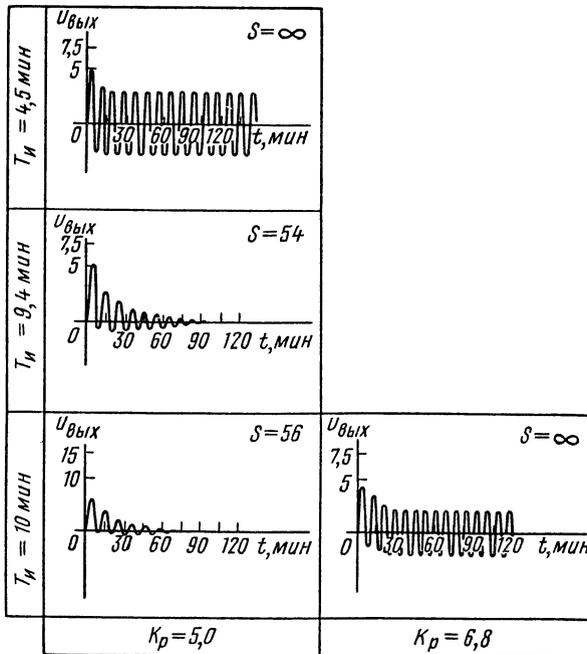
2. При зафиксированном значении κ_p начинают уменьшать T_n : при этом сначала площадь уменьшается, а затем снова начинает расти. Фиксируют найденное значение T_n , соответствующее минимальной площади.

3. При зафиксированном значении T_n снова изменяют κ_p .

Процедуру повторяют до тех пор, пока любое изменение (увеличение или уменьшение) κ_p и T_n не будет приводить к увеличению площади.

Проиллюстрируем процедуру организованного поиска ОПН последовательным изменением κ_p и T_n на примере рис. 39. Установим максимальное значение $T_n = 10$ мин. Поочередно устанавливаем $\kappa_p = 0,5; 1,1; 3; 5; 6,8$. Для каждого значения κ_p фиксируем кривую переходного процесса и

Рис. 39. Изменение переходного процесса в плоскости параметров настройки κ_p и T_n



определяем площадь. При $\kappa_p = 5$ площадь начинает увеличиваться, поэтому возвращаемся к $\kappa_p = 3$ и начинаем уменьшать T_n до 4,5 мин. Это приведет к увеличению площади, значит, $\kappa_p = 3$ и $T_n = 4,5$ являются оптимальными (последовательность поиска на рис. 39 показана стрелками).

При настройке АСР методом организованного поиска наладчика, как правило, не интересуют тип объекта управления и параметры характеристики, а полученные результаты настройки он оценивает не количественно, а качественно — по форме характеристики переходного процесса. На рисунке изображена последовательность операций (до 19) для получения требуемого переходного процесса. Число операций увеличивается, если наладка производится на действующем объекте в условиях влияния помех.

Расчет настройки АСР по временным характеристикам. Все простые методы расчета настройки по временным характеристикам предполагают выполнение ряда операций:

снятие и построение характеристики объекта, сравнение полученной характеристики с типовой (см. § 13) и определение типа объекта (с самовыравниванием, без самовыравнивания, одно- или многоемкостный). Например, если в результате снятия временных характеристик усредненная характеристика имеет вид, изображенный на рис. 28, то ближайшей к ней по форме типовой характеристикой будет характеристика одноемкостного объекта с самовыравниванием (см. рис. 27, а);

определение параметров характеристики объекта ($\tau_{об}$, $\kappa_{об}$, $\varepsilon_{об}$ и $T_{об}$); расчет и установка значений настроек регуляторов.

Для определения оптимальных значений настройки регуляторов необходимо знать для объекта без самовыравнивания коэффициент передачи $\varepsilon_{об}$, а для объектов с самовыравниванием коэффициент усиления объекта $\kappa_{об}$ и постоянную времени объекта $T_{об}$.

П-регулятор. Объект без самовыравнивания. Динамические свойства замкнутой системы аналогичны свойствам инерционного звена с $T = 1/(\varepsilon_{об} \cdot \kappa_p)$ и $\kappa = 1/\kappa_p = \delta$. Наличие остаточного отклонения δ (статизма) регулируемой величины является отличительной особенностью П-регулятора.

Амплитудно-фазовая частотная характеристика рассматриваемой системы представляет собой полуокружность, расположенную в IV квадранте, поэтому она ни при каких условиях не охватит точку с координатами — 1, 0, т. е. система устойчива для любых значений κ_p .

Из формул видно, что при увеличении κ_p уменьшаются δ и T . Отсюда можно сделать вывод, что в рассматриваемой системе регулирования следует стремиться к возможно большему значению κ_p .

Практически максимальное значение κ_p ограничено конструкцией регулятора. Например, $\kappa_{p, \max}$ для некоторых конструкций не превышает 10.

Вторая причина ограничения максимального значения κ_p заключается в том, что в реальных условиях характеристики объекта только приближенно могут быть аппроксимированы характеристиками одноемкостных объектов. И при больших значениях κ_p быстродействие системы настолько увеличивается (T уменьшается), что начинают влиять такие незначительные на первый взгляд факторы, как емкость пневмолинии, инерционность термопары и т. д. Такой объект нужно рассматривать уже как многоемкостный, так как при наличии трех последовательно включенных емкостей

АФЧХ уже пересекает три квадранта и при увеличении κ_p может охватить критическую точку, т. е. система станет неустойчивой.

В практике рекомендуется оптимальным предельным значением κ_p считать такое, при котором закон регулирования еще остается пропорциональным.

Объект с самовыравниванием. После охвата инерционного звена П-регулятором система регулирования в динамическом отношении будет подобна инерционному звену с коэффициентом усиления $\kappa = \kappa_{об} / (1 + \kappa_{об}\kappa_p)$ и постоянной времени $T = T_{об} / (1 + \kappa_{об}\kappa_p)$.

Из формул следует, что, как и в случае объекта без самовыравнивания, для оптимальной настройки системы следует стремиться к предельно возможным значениям κ_p .

И-регулятор. Объект без самовыравнивания. Рассмотренный ранее случай охвата интегрирующего звена обратной связью с включенным в нее интегрирующим звеном по динамическим характеристикам аналогичен включению И-регулятора на одноместном объекте без самовыравнивания. Переходный процесс в этом случае имеет незатухающие периодические колебания, т. е. при любых значениях ϵ_p система находится на границе устойчивости. Практически из-за наличия неучтенных емкостей и люфтов амплитуда колебаний от периода к периоду будет увеличиваться. Поэтому И-регулятор не может обеспечить устойчивое регулирование объектов без самовыравнивания.

Объект с самовыравниванием. Переходный процесс замкнутой системы, состоящий из объекта с самовыравниванием и И-регулятора, может быть колебательным или аperiodическим в зависимости от выбранного значения параметра настройки регулятора ϵ_p . Зная $\kappa_{об}$ и $T_{об}$, можно до включения регулятора определить характер переходного процесса по числовому значению выражения $4\kappa_{об}T_{об}\epsilon_p$, если оно более 1 — переходный процесс колебательный затухающий, менее 1 — аperiodический, равен 1 — соответствует границе аperiodичности. Значит, оптимальной настройкой регулятора, обеспечивающей переходный процесс на границе аperiodичности, будет $\epsilon_{p,опт} = 0,25 / (\kappa_{об}T_{об})$.

Если по условиям технологического процесса предпочтение отдается колебательному переходному процессу, то $\epsilon = 2,11 / (\kappa_{об}T_{об})$.

Такое значение ϵ обеспечивает переходный процесс с $\psi = 0,9$. При $\epsilon_p = \epsilon_{p,опт}$ динамическая ошибка колебательного переходного процесса $A_1 = 0,44\kappa_{об}$.

A_1 зависит только от $\kappa_{об}$ и остается постоянной независимо от настройки регулятора. Если при наладке системы регулятор настроен на переходный процесс, соответствующий границе аperiodичности, и необходимо перенастроить систему на колебательный переходный процесс, достаточно увеличить ϵ_p в восемь раз.

ПИ-регулятор. Объект без самовыравнивания. Для обеспечения оптимального переходного процесса с $\psi = 0,9$ оптимальные параметры настройки $\kappa_{p,опт} = \kappa_{p,мах}$; $T_{i,опт} = 0,475 / (\epsilon_{об}\kappa_{p,опт})$.

Объект с самовыравниванием. κ_p выбирают, как и в случае объекта без самовыравнивания, максимально возможным:

$$\kappa_{p,опт} = \kappa_{p,мах}, \text{ а } T_{i,опт} = 0,475 \cdot \frac{\kappa_{об}\kappa_{p,опт}}{(1 + \kappa_{об}\kappa_{p,опт})^2} T_{об}.$$

Если окажется, что характеристика объекта регулирования соответствует типовым характеристикам многоемкостных объектов (см. рис. 27, б, г), то после определения $\epsilon_{об}$, $\kappa_{об}$, $\tau_{об}$ и $T_{об}$ соответствующие предусмотренному проектом закону регулирования настройки регуляторов находят по табл. 4.

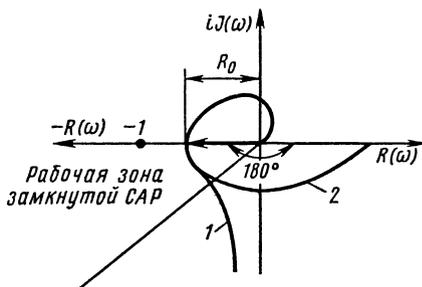
Т а б л и ц а 4. Формулы для расчета настроек регуляторов АСР с многоемкостными объектами

Закон регулирования	Настройки регулятора	Переходный процесс			
		апериодический		колебательный	
		с самовыравниванием	без самовыравнивания	с самовыравниванием	без самовыравнивания
И	κ_p	$\frac{1}{4,5\kappa_{об} T_{об}}$	—	$\frac{1}{1,7\kappa_{об} T_{об}}$	—
П	κ_p	$\frac{0,3T_{об}}{\kappa_{об} \tau_{об}}$	$\frac{0,4}{\epsilon_{об} \tau_{об}}$	—	—
ПИ	κ_p	$\frac{0,6T_{об}}{\kappa_{об} \tau_{об}}$	$\frac{0,4}{\epsilon_{об} \tau_{об}}$	$\frac{1,0T_{об}}{\kappa_{об} \tau_{об}}$	$\frac{1}{\epsilon_{об} \tau_{об}}$
	T_n	$0,6T_{об}$	$6\tau_{об}$	$T_{об}$	$4\epsilon_{об}$
ПИД	κ_p	$\frac{0,95T_{об}}{\kappa_{об} \tau_{об}}$	$\frac{0,6}{\epsilon_{об} \tau_{об}}$	$\frac{1,4T_{об}}{\kappa_{об} \tau_{об}}$	$\frac{1,4}{\epsilon_{об} \tau_{об}}$
	T_n	$2,4\tau_{об}$	$5\tau_{об}$	$1,3\tau_{об}$	$1,6\tau_{об}$
	T_n	$0,4\tau_{об}$	$0,2\tau_{об}$	$0,5\tau_{об}$	$0,5\tau_{об}$

Расчет настройки по частотным характеристикам. Из методики определения оптимальной настройки П- и ПИ-регуляторов, рассмотренной ранее, видно, что основное значение имеет участок амплитудно-частотной характеристики регулируемого объекта, расположенный вблизи от критической точки с координатами — 1; 0. Исходя из этого, для приближенной настройки указанных регуляторов можно ограничиться определением амплитудно-фазовой характеристики регулируемого объекта только для одной частоты, при которой АФЧХ пересекает отрицательную вещественную полуось ($\varphi = -180^\circ$).

Поскольку во II и III квадрантах АФЧХ объекта без самовыравнивания мало отличается от характеристики объекта с самовыравниванием (рис. 40), можно с некоторой погрешностью аппроксимировать оба вида типовых характеристик характеристикой интегрирующего звена с транспортным запаздыванием. Сдвиг 180° экспериментально можно получить способом раскачки, а отношение амплитуды колебания выходной вели-

Рис. 40. Рабочая зона частот оптимально настроенной системы с объектом без самовыравнивания (1) и с самовыравниванием (2)



чины A к колебаниям входной величины d будет равно точке АФЧХ для критической частоты $\omega_{кр}$:

$$R = \frac{A_1}{A_2} = \frac{A}{1,27d}.$$

При принятых допущениях по данным опыта раскочки объекта определяют $T_{об} = \pi/2\omega_{кр}$; $\epsilon_{об} = R\omega_{кр}$, где $\omega_{кр}$ — частота, при которой АФЧХ пересекает отрицательную вещественную полуось $\varphi(\omega_{кр}) = -180^\circ$.

Для *П-регулятора* $\kappa_{р.опт} = 0,87/\epsilon_{об}T_{об}$. Подставим значения $\epsilon_{об}$ и $T_{об}$, полученные по одной точке частотной характеристики:

$$\kappa_{р.опт} = 0,87 \cdot 2\omega_{кр} / (\pi R\omega_{кр}) = 0,56/R.$$

Для *ПИ-регулятора* и объекта без самовыравнивания

$$\kappa_{р.опт} = \frac{0,55}{\epsilon_{об}T_{об}} = \frac{0,55 \cdot 2\omega_{кр}}{R\omega_{кр}\pi} = \frac{0,35}{R};$$

$$T_{и.опт} = 5T_{об} = \frac{5\pi}{2\omega_{кр}} = \frac{7,86}{\omega_{кр}}.$$

Параметры настройки регуляторов можно выразить через период колебания $T_{кр}$, который легче определить опытным путем, чем ω . Подставим выражение $\omega_{кр} = 2\pi/T_{кр}$, а также значение R в выведенные формулы и получим для *П-регулятора*

$$\kappa_{р.опт} = \frac{0,56 \cdot 1,27d}{A_{кр}} = 0,7 \frac{d}{A_{кр}},$$

для *ПИ-регулятора*

$$\kappa_{р.опт} = 0,44 \frac{d}{A_{кр}}; \quad T_{и.опт} = \frac{7,86}{2\pi} \cdot T_{кр} = 1,25T_{кр},$$

где $A_{кр}$ — амплитуда колебаний на критической частоте.

Этот метод применяют, как правило, для расчета настроек регуляторов, работающих с инерционными объектами, так как без применения специальных генераторов трудно обеспечить устойчивые периодические колебания для объектов с периодом колебаний в установившемся режиме $T < 20 - 25$ с.

В этом случае период перемещения клапана из одного положения в другое становится соизмеримым с периодом колебаний и не представляется возможным обеспечить прямоугольную или синусоидальную форму входных возмущающих колебаний.

Для малоинерционных объектов применяют метод настройки АСР выводом ее на границу устойчивости. При этом все элементы АСР должны быть налажены, а органы настройки κ_r и T_i отградуированы.

Сущность метода заключается в том, что систему выводят на границу устойчивости при некоторых произвольно получившихся настройках регулятора, а затем определяют, во сколько раз следует их изменить, чтобы

настройка регулятора стала оптимальной. При этом предполагается, что АФЧХ системы может быть аппроксимирована АФЧХ интегрирующего звена с транспортным запаздыванием.

Пропорциональный регулятор (ПИ-регулятор должен быть включен по схеме П-регулятора) включается в работу при возможно меньшем значении его коэффициента усиления. Если система работает устойчиво, то постепенным увеличением коэффициента усиления регулятора добиваются, чтобы в ней возникли незатухающие колебания. Эти колебания возникают потому, что оказались выполненными условия устойчивости, определяемые критерием Найквиста — Михайлова, т. е. амплитудно-фазовая характеристика разомкнутой системы при частоте возникших колебаний равна 1. Из этого условия выведены значения параметров объекта:

$$\varepsilon_{об} = \frac{\omega_{кр}}{\kappa_{р.кр}}; \tau_{об} = \frac{\pi}{2\omega_{кр}},$$

где $\kappa_{р.кр}$ — критическое значение коэффициента усиления регулятора, при котором в системе возникли незатухающие колебания; $\omega_{кр}$ — частота незатухающих колебаний.

Подставив эти выражения в известные нам формулы определения оптимальной настройки регуляторов, получим для *П-регулятора*

$$\kappa_{р.опт} = \frac{0,87}{\varepsilon_{об}\tau_{об}} = \frac{0,87\kappa_{р.кр} \cdot 2\omega_{кр}}{\omega_{кр}\pi} = 0,55\kappa_{р.кр},$$

для *ПИ-регулятора*

$$\kappa_{р.опт} = 0,35\kappa_{р.кр}; T_{н.опт} = 5\tau_{об} = \frac{7,85}{\omega_{кр}},$$

или, выразив $\omega_{кр}$ через период незатухающих колебаний $2\pi/T_{кр}$, получим

$$T_{н.опт} = \frac{5\pi \cdot T_{кр}}{2 \cdot 2\pi} = 1,25T_{кр}.$$

При пользовании изложенным методом не обязательно знать значение критического коэффициента усиления регулятора. Формулы показывают, во сколько раз следует изменить значение $\kappa_{р.кр}$, чтобы получить $\kappa_{р.опт}$.

Алгоритмический метод настройки. При выполнении пусконаладочных работ широко применяют алгоритмические методы определения оптимальных настроек автоматических систем регулирования. В основе алгоритмических методов, как правило, лежат сложные исследования и расчеты, а сами методы, полученные на основании этих результатов, просты и надежны. В основе методов лежит алгоритм — последовательность операций, которая позволяет приблизиться к оптимальному результату кратчайшим способом.

Наиболее надежные методы основаны на анализе частотных характеристик, которые могут быть получены в результате подачи на вход налаживаемой АСР периодических колебаний, возбуждаемых вручную или автоматическим генерирующим устройством.

Алгоритмический метод определения настроек *ПИ-регуляторов* путем поддержания разомкнутой системы на критической частоте состоит в сле-

дующем. На вход АСР (см. рис. 33) подают прямоугольные или синусоидальные колебания и фиксируют характер колебаний выходного сигнала x_p регулятора. Увеличивают круговую частоту колебаний до значения $\omega_{кр}$, при которой угловой сдвиг между x и x_p составит 180° . Колебания такого характера могут быть возбуждены автоматически, если в разрыв цепи обратной связи вместо ключа K подключить релейный элемент. Тогда при достижении x_p какого-то заданного значения выходной сигнал релейного элемента будет изменяться скачком, причем направление этого скачкообразного изменения будет противоположным направлению изменения x_p , т. е. если x_p увеличивается, то выходной сигнал релейного элемента становится минимальным, и наоборот.

Настраиваемую АСР включают в работу, предварительно обеспечив П-закон регулирования ($T_n = \infty$), размыкают ее ключом K и на вход подают прямоугольные колебания x . Изменяя частоту колебаний, добиваются устойчивых колебаний выходного сигнала x_p с угловым сдвигом 180° .

Измеряют амплитуду A_n , с которой изменяется x_p , и амплитуду d изменения входных колебаний x . Изменяя κ_p , добиваются таких колебаний на критической частоте, чтобы $A_n/d = \kappa_n$, где κ_n — постоянный коэффициент, равный 0,35. При постоянном значении d для увеличения A_n κ_p увеличивают, а если $\kappa_n \leq 0,35$, то для уменьшения A_n κ_p уменьшают.

Затем продолжают раскачивать АСР на критической частоте и, уменьшая T_n , добиваются соотношения $A_{пн}/d = \kappa_{пн}$, где $\kappa_{пн} = 0,45$; $A_{пн}$ — амплитуда выходного сигнала при $T_n \neq \infty$.

Если для возбуждений колебаний используют автоматическое устройство, то, задавшись амплитудой входных колебаний, рассчитывают требуемую амплитуду выходных колебаний $A_n = 0,35d$ и $A_{пн} = 0,45d$. Затем, плавно изменяя сначала κ_p , а затем T_n , добиваются расчетных значений сначала A_n , а потом $A_{пн}$.

При применении частотных, в том числе алгоритмических, методов настройки необходимо учитывать, что характеристики объектов и АСР определяют на действующем оборудовании, находящемся, как правило, в режиме выпуска продукции. Поэтому проведение опыта должно быть согласовано с технологическим персоналом, а значения возмущающих воздействий d не должны нарушать нормального хода технологического процесса.

Глава VII

НАДЕЖНОСТЬ ПРИБОРОВ И СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ

§ 17. Физическая сущность надежности.

Основные определения

Технические характеристики прибора или системы автоматизации определяют возможности аппаратуры, которые могут быть использованы при ее эксплуатации. В процессе эксплуатации эти характеристики должны сохраняться. Способность любого изделия, в том числе приборов и средств автоматизации, сохранять свои характеристики в заданных преде-

лах в течение требуемого промежутка времени называется надежностью (ГОСТ 27.002—83).

Являясь одной из составляющих качества изделия или выполненной работы, надежность имеет по сравнению с иными качественными характеристиками существенную особенность. Так, большинство характеристик изделия, в данном случае прибора, не связаны друг с другом. Например, прибор может быть точным, но иметь низкую скорость записи, быстрое действие прибора требуемое, а условия измерения нарушены и т. д. Надежность прибора неразрывно связана со всеми его характеристиками и характеризует проявление всех показателей его качества при использовании. Если прибор часто выходит из строя или изменяются какие-то его характеристики, то даже при отличных отдельных характеристиках его нельзя назвать надежным.

Любое изделие всегда находится в одном из двух состояний — работоспособном или неработоспособном. Переход из одного состояния в другое может происходить постепенно или скачком (внезапно). Качество изображения телевизора может постепенно ухудшаться до тех пор, пока оно не станет неприемлемым для восприятия. Тот же телевизор может выйти из строя мгновенно в момент нормального приема изображения без видимых на первый взгляд причин.

Постепенный выход из строя изделий обуславливается, как правило, двумя основными факторами — износом и старением. *Износ* связан с выполнением механической или электрической работы и присущ всем изделиям в любых условиях. Как бы точно ни были выполнены кинематические звенья лентопротяжного механизма, в процессе работы неизбежны стирание, нарушение первоначальной формы зубчатых пар и скручивание валов. Механический износ проявляется в изменении формы и поверхности изделия. Электрический износ связан с физико-химическими воздействием электрического тока на детали. Количественно износ может быть определен заранее, так как обусловлен объемом работы, выполненным деталью или изделием (например, пробег автопокрышки 50 тыс. км).

Старение изделия проявляется во времени независимо от выполняемой изделием работы и обусловлено воздействием времени. Старение вызывает в изделиях необратимые физико-химические изменения. Так, независимо от того, работали или находились на складе гальванические элементы, через определенный срок они теряют работоспособность. Потеря работоспособности прибора в результате воздействия износа или старения не очевидна и, как правило, может быть установлена при периодической или внеочередных поверках аппаратуры.

Переход в нерабочее состояние скачком очевиден. Причинами такого перехода являются концентрация нагрузок (механических или электрических) выше допустимых для элемента или всей системы, наличие скрытых производственных дефектов и механические повреждения элементов систем (пробой питающего кабеля, разрушение изоляции проводки). Как правило, в этих случаях прибор разрушается или полностью теряет свои основные свойства.

Причины скачкообразных переходов в неработоспособное состояние в отличие от постепенных часто не могут быть заранее определены экспериментально. Подобные переходы носят случайный характер. Однако глу-

бокое изучение физических причин потери надежности позволяет науке, все большее число причин, считавшихся ранее случайными, прогнозировать и устранять путем применения новых технологий, изменения условий работы механизмов и приборов, совершенствования их конструкций.

Очевидно, что надежность изделия, прибора, системы зависит от надежности отдельных деталей, элементов, вспомогательных узлов, из которых собрано изделие. При рассмотрении надежности систем автоматизации предполагают, что все детали, из которых состоит преобразователь (линия, вторичный прибор, регулятор), включены последовательно, т. е. выход из строя любой детали или элемента приводит к выходу из строя всей системы. Чем большее число отдельных элементов использовано для создания системы (сложная система), тем ниже будет ее надежность.

Особенность надежностной качественной и количественной оценки изделий заключается в том, что надежность нельзя измерить. Случайный характер многих факторов, влияющих на надежность изделий и приборов, и определяет основу математического аппарата теории надежности — теорию вероятностей.

Для систем автоматизации важное значение надежность приобретает по следующим объективным причинам:

- сокращение числа обслуживающего персонала технологических процессов и аппаратов за счет создания автоматизированных и автоматических систем управления;

- разработка и внедрение новых интенсифицированных и сложных комплексов технологических процессов, для которых физиологические качества человека — быстрота принятия решения — становятся тормозом к внедрению;

- разработка и внедрение усложненных систем управления на базе информационных и управляющих вычислительных машин.

Для анализа надежности изделия необходимо определить границу, за которой прибор перестает удовлетворять требованиям надежности. Неразрывно связана с надежностью *работоспособность* — состояние изделия, при котором оно способно выполнять заданные функции с параметрами, установленными требованиями технической документации (ГОСТ, ТУ и т. п.). Не рекомендуется смешивать понятия «работоспособность» и «исправность». Если у прибора контроля температуры перегорела лампа контроля напряжения, то считать его исправным нельзя, хотя он и работоспособен, так как измеряет температуру в заданном диапазоне с заданной точностью. Событие, заключающееся в нарушении работоспособности прибора, называется *отказом*. Правильное понимание сущности отказов (причин, последствий и способов борьбы с ними) является важнейшим условием решения практических вопросов обеспечения надежности.

Надежность изделия характеризуется рядом свойств, оценка каждого из которых необходима при ее анализе: безотказностью, долговечностью, ремонтпригодностью, сохраняемостью.

Основное свойство — *безотказность* — определяется как свойство изделия сохранять работоспособность в течение некоторого времени (наработки) без вынужденных перерывов.

Следует заметить, что все определения теории надежности имеют физический смысл только при их рассмотрении в неразрывной связи с временными промежутками. Так, при расчете надежности космического аппарата вероятность безотказной работы основных систем должна быть обеспечена в течение срока, который равен времени космического полета или превышает его. Также важно, чтобы сельскохозяйственная техника, например комбайн, работала без отказов в течение всего срока уборки урожая. Однако если для космического корабля в течение полета ремонт недопустим, а для комбайна во время уборочной нежелателен, то для большинства изделий, в том числе приборов и средств автоматизации, ремонт — явление вполне нормальное. Поэтому надежность определяется и *долговечностью* — свойством изделия сохранять работоспособность до предельного состояния с необходимыми перерывами для технического обслуживания и ремонтов.

Свойство изделия, определяющее его приспособленность к проведению профилактических мероприятий по предупреждению, обнаружению и устранению отказов и неисправностей, называется *ремонтпригодностью*.

Каждое изделие должно обладать *сохраняемостью*, т. е. способностью не изменять обусловленные эксплуатационные характеристики в течение и после срока хранения или транспортирования, установленного в технической документации.

Из рассмотренного материала ясно, что точно рассчитать время возникновения отказа (а во многих случаях это необходимо) не представляется возможным. Многообразие причин появления отказов, их сложная взаимосвязь объясняют то обстоятельство, что теория надежности оперирует со случайными величинами. Для определения, например, вероятности безотказной работы какого-либо прибора в конкретных условиях в течение заданного промежутка времени поступают следующим образом. Прибор устанавливают на стенд, позволяющий моделировать реальные условия (температуру, влажность, уровень вибрации), в которых он будет работать, и определяют время его безаварийной (до первого отказа) работы (наработка на отказ). Такие эксперименты проводят со многими однотипными приборами и по результатам испытаний определяют среднюю наработку t_{cp} . Если задан промежуток времени t , в котором необходимо определить вероятность безотказной работы, то она может быть приближенно определена по формуле

$$P = e^{-\frac{t}{t_{cp}}},$$

где P — вероятность безотказной работы в промежутке времени t (принимает значения от 1 до 0); e — основание натуральных логарифмов ($e \approx 2,71$); t_{cp} — средняя наработка до первого отказа.

Например, если t_{cp} сигнализатора уровня 10 000 ч и требуется определить вероятность безотказной работы прибора в течение 5000 ч, то

$$P = e^{-\frac{5000}{10\,000}} = e^{-\frac{1}{2}} = \frac{1}{\sqrt{2,71}} \approx 0,6.$$

Полученный результат говорит о том, что если десять сигнализаторов будут установлены, то можно ожидать, что шесть из них в течение 5000 ч проработают безотказно, а в четырех произойдут отказы. Среднюю наработку можно также определить путем сбора статистических данных на предприятиях, где уже работают приборы, надежность которых должна быть определена.

Из рассмотренного примера видно, что если уменьшить заданное время безотказной работы до 1000 ч, то вероятность $P=0,9$ и уже можно ожидать, что девять из десяти приборов в течение этого срока не дадут отказов.

Для определения вероятности безотказной работы какой-то системы приборов (например, системы контроля, состоящей из преобразователя и вторичного прибора) в течение какого-либо промежутка времени t необходимо перемножить вероятности безотказной работы за то же время всех элементов системы, т. е. $P_c = P_n P_{в.п.}$, где P_c , P_n , $P_{в.п.}$ — соответственно вероятность безотказной работы системы, преобразователя, вторичного прибора.

§ 18. Вопросы надежности при наладке приборов и средств автоматизации

С точки зрения надежности системы автоматического контроля и управления являются системами с последовательными элементами, так как для большинства систем отказ детали, элемента или блока приводит к отказу всей системы. Основной причиной отказов является отклонение реальных характеристик измеряемых параметров и внешней среды от нормируемых для конкретных типов приборов.

Систему автоматизации можно представить состоящей из трех групп элементов: электрических, механических (пневматических, гидравлических) и комбинированных (электропневматических, электрогидравлических). Для первой и третьей групп характерны отказы, вызванные обрывом цепи или коротким замыканием, для второй — поломками, заклиниванием, деформациями элементов и поверхностей. Уменьшить вероятность появления отказов можно за счет повышения качества проверки и тщательности контроля за монтажом приборов и средств автоматизации.

В процессе проведения предмонтажной проверки внешним осмотром убеждаются в целостности изоляции проводников прибора; все пайки, произведенные во время настройки аппаратуры, покрывают лаком. Резьбовые соединения плотно подтягивают, а контрольные и стопорные винты затягивают. Трущиеся и вращающиеся детали приборов очищают, промывают спиртом и смазывают.

При подготовке приборов к монтажу анализируют вероятность безотказной работы приборов и устройств за плановое время проведения работ. Исходя из полученного результата по каждой группе приборов, подготавливают необходимое число запасных устройств, чтобы обеспечить быструю замену вышедших из строя.

При проверке качества монтажа необходимо убедиться в наличии актов на проверку сопротивления изоляции электрических и герметичности трубных трасс. Для устранения обрывов цепей все соединения электрических трасс обтягивают.

По характеру последствий отказы могут быть *опасными*, связанными с возникновением опасности для целостности агрегата (взрыв) или для обслуживающего персонала (загазованность, пожар), и *безопасными*. К опасным относятся отказы систем блокировки и защиты, а также некоторых систем контроля и регулирования. Для устранения возможности опасных последствий отказов системы, как правило, дублируют и, кроме того, предусматривают дополнительную технологическую защиту (например, предохранительные клапаны на трубопроводах, огнепреградители). При наладке таких систем предусматривается значительно больший объем их испытаний в режимах, имитирующих аварийный.

По возможности устранения отказы можно разделить на *окончательные* и *перемежающиеся*. Перемежающиеся отказы, иначе называемые сбоями, носят случайный временный характер. При появлении отказа такого вида наладчик обязан вскрыть причину его появления и убедиться в том, что она носит случайный характер.

Отказы прибора или элемента могут быть *первичными*, возникающими в самих приборах и элементах, и *вторичными*, которые возникают в результате другого отказа. Например, вторичным является отказ электронного потенциометра в результате выхода из строя термопары из-за резкого повышения температуры в печи по сравнению с номинальной. В этом случае вторичный отказ может быть устранен расширением диапазона измерения прибора, установкой защитной арматуры и т. д.

По легкости обнаружения отказы могут быть *явными* (видимыми) и *скрытыми*.

Характеризуются отказы систем параметром потока отказов λ . Численно эта величина равна $\lambda = 1/e^{-1/t_{cp}}$, где t_{cp} — средняя наработка до первого отказа. Для рассмотрения формулы λ равна числу отказов в единицу времени. При $t_{cp} = 10\,000$ ч параметр потока отказов будет равен 10^{-4} ч⁻¹.

На графике изменения параметра поток отказов систем автоматического управления во времени можно наблюдать три характерных периода (рис. 41).

В период $0-t_1$ происходит так называемая приработка элементов и узлов систем, в результате чего число отказов повышено. Причинами этого являются дефекты в изготовлении аппаратуры, недостатки монтажа, необходимость совместной настройки узлов и блоков сложных систем. Продолжительность этого периода обычно 100—200 ч работы систем.

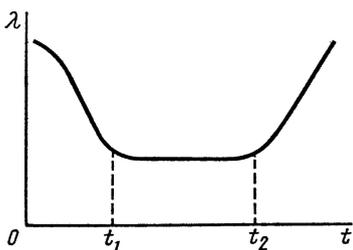


Рис. 41. График интенсивности отказов в эксплуатационный период

Основным мероприятием, обеспечивающим уменьшение числа отказов систем контроля и управления на действующем технологическом оборудовании в данный период, является включение максимально большего числа систем при опробовании, сушке или обкатке агрегатов на нейтральных средах или вхолостую. Так, учитывая, что наиболее вероятным является отказ кинематики лентопротяжного механизма вторичных приборов, их включают в работу за 5—6 суток до пуска технологического процесса. В этот же

период большое число отказов возникает в результате неподготовленности персонала КИП и технологов к работе с новой аппаратурой, поэтому наладочный персонал до включения систем автоматизации в работу должен провести инструктаж с персоналом заказчика по правилам работы с аппаратурой. В этот период необходимо круглосуточное дежурство наладчиков. Период $t_1 - t_2$ характерен постоянной λ , а в период $t > t_2$ число отказов возрастает вследствие старения и износа элементов системы.

Раздел второй

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ

Создание необходимых технических средств измерения, контроля и управления, предназначенных для автоматизации производства, является одной из важнейших задач промышленности. Для эффективного решения этой задачи создана Государственная система промышленных приборов и средств автоматизации (ГСП).

По функциональному признаку приборы и средства автоматизации ГСП разделяются на следующие группы:

для получения информации о состоянии процесса (датчики);

для приема, преобразования и передачи информации по каналам связи;

для преобразования, хранения, обработки информации и формирования команд управления (регулирующие и функциональные устройства, задатчики и т. п.);

для использования командной информации в целях воздействия на процесс и для связи с оператором (вторичные приборы, исполнительные устройства).

По роду энергии, используемой для передачи информации и команд управления, устройства, приборы и средства автоматизации ГСП подразделяют на три ветви: электрическую, пневматическую и гидравлическую.

В качестве сигналов для передачи информации могут использоваться электрический ток (в диапазонах 0—5 или 0—20 мА), напряжение постоянного тока (0—10 В), частота переменного тока, комплексная взаимная индуктивность (0—10 мГн), напряжение переменного тока, а для пневматических устройств — давление сжатого воздуха (0,02—0,1 МПа).

Установленные стандартами метрологические характеристики приборов и средств автоматизации определяют ряды диапазонов измерений физических величин, классов точности, а также методы проверки и испытаний приборов как при выпуске их на заводах, так и при эксплуатации потребителями.

ГСП устанавливает стандартный ряд размеров корпусов приборов, размеры и конструкцию устройств для их монтажа (стоек, кронштейнов, панелей), вид и конструкцию подсоединения внешних проводов (штепсельное соединение, штуцер, ниппель и т. п.).

В основу измерительных преобразователей различных физических величин и вторичных пневматических приборов положен принцип компенсации усилий, а вторичных электронных приборов — компенсации э. д. с.

Такая унификация изделий ГСП по назначению, видам информационных сигналов, конструкции и принципу действия позволяет сократить затраты на разработку и эксплуатацию систем управления, создаваемых на базе устройств ГСП.

Положенный в основу ГСП принцип агрегатирования предусматривает создание узлов, элементов, модулей, с помощью которых могут быть изготовлены различные по назначению устройства. Так, все измеритель-

ные преобразователи ГСП имеют одинаковую конструкцию силового механизма и элементов корпуса, в многообразии модификаций вторичных приборов используются всего три типа полупроводниковых усилителей, одинаковые электроприводы, встроенные устройства и т. п. Агрегатирование значительно сокращает сроки изготовления приборов, их ремонта, который сводится к простой замене неисправного узла или модуля.

Агрегатирование осуществляется не только при построении отдельных приборов, но и при создании функциональных групп устройств, так называемых агрегатированных (агрегатных) комплексов. Агрегатированные комплексы (АК) обеспечивают возможность построения на их базе сложных систем автоматизации. Комплексы бывают широкого назначения и специализированные. Примером комплекса ГСП широкого назначения может служить агрегатный комплекс электрических средств регулирования в микроэлектронном исполнении — АКЭСР. Набор функциональных блоков, регуляторов и вспомогательных устройств позволяет построить на его базе автоматические системы регулирования любой сложности, реализующие стандартные законы регулирования и обеспечивающие математическую обработку информационных сигналов. Аналогичные задачи решает в пневмоавтоматике комплекс «Старт», в вычислительной технике — агрегатный комплекс средств вычислительной техники АСВТ и т. п.

В разделе рассматриваются технические средства контроля и управления, входящие в Государственную систему промышленных приборов и средств автоматизации.

Глава VIII

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ И ПРИБОРЫ

§ 19. Измерительные преобразователи и приборы температуры

Для измерения температуры применяют термометры расширения, термопреобразователи сопротивления (ТС), термоэлектрические и манометрические термопреобразователи и приборы. В дистанционных системах передачи показаний с термопреобразователями сопротивления и термоэлектрпреобразователями применяют вторичные приборы — логометры, автоматические мосты, милливольтметры и потенциометры.

Термометры расширения служат для измерения температуры в помещениях, наружного воздуха и т. п. Чувствительный элемент представляет собой баллон с жидкостью, при нагревании которого жидкость расширяется и ее столбик поднимается в отсчетном устройстве. Положение конца столбика относительно шкалы термометра соответствует температуре среды, в которой находится баллон.

Термопреобразователи сопротивления (ГОСТ 6651—78) применяют в системах, где требуется измерять высокие температуры и дистанционно передавать показания. Принцип работы таких преобразователей основан на свойстве металлов изменять свое сопротивление при изменении температуры.

Чувствительные элементы термопреобразователей выполняют из платины (ТСП) или меди (ТСМ). Платиновую или медную проволоку наматывают на каркас. Размеры каркаса в зависимости от конструкции термопреобразователя могут быть от 60 до 100 мм. Каркас с чувствительным элементом 1 (рис. 42) помещен в корпус защитной арматуры, выполненной, как правило, из нержавеющей стали. Провода проходят в изолирующих керамических бусах 3 и подсоединяются к зажимам 5 головки термопреобразователя сопротивления. К линии связи преобразователь подсоединяют через сальниковое уплотнение 4. На технологических трубопроводах преобразователь вставляют в гнездо и укрепляют штуцером 6. Монтажная длина термопреобразователей от 10 до 3150 мм, диаметр защитной арматуры — от 10 до 300 мм.

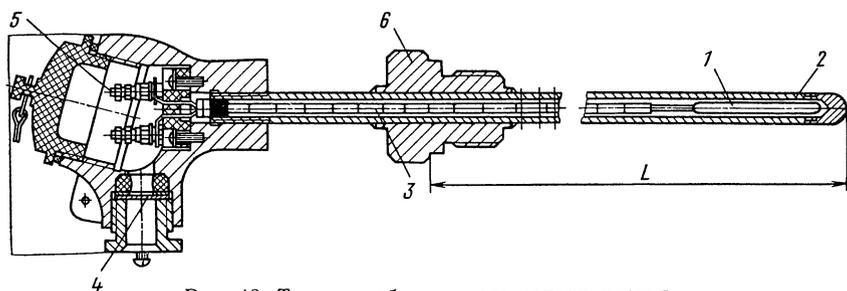


Рис. 42. Термопреобразователь сопротивления:

1 — чувствительный элемент, 2 — корпус, 3 — бусы, 4 — уплотнение, 5 — зажим, 6 — штуцер

Статические характеристики преобразования стандартизованы (ГОСТ 6651—78) и выражают зависимость сопротивления чувствительного элемента от измеряемой температуры. Характеристика обозначается 1П, 100П, 10М, 100М и т. д. Число (1, 10, 100) обозначает сопротивление чувствительного элемента при 0° С (1, 10, 100 Ом), а буква — материал чувствительного элемента.

По точности измерения преобразователи выпускают пяти классов, которые обозначают римскими цифрами. Платиновые термопреобразователи сопротивления применяют для измерения температуры в диапазоне минус 260— плюс 1100° С, а медные — минус 200 — плюс 200° С.

Применение преобразователей ограничено как из-за сравнительно низкой максимальной температуры, так и из-за значительных размеров каркаса чувствительного элемента.

Термоэлектропреобразователи применяют для измерения температуры в пределах до 1800° С (ГОСТ 6616—74)

Действие термоэлектропреобразователя основано на следующем принципе. Если спаять два стержня из различных металлов, а затем спаянный (горячий) и свободные (холодные) концы поместить в среды с различными температурами, то между свободными концами стержней возникает разность потенциалов. Свободные концы соединяют с приемником тока и получают электрическую цепь, в которой находится источник э. д. с. Термоэлектродвижущая сила т. э. д. с. в цепи зависит от разности температур, в которые помещены свободные и спаянные концы преобразователя, и от свойств металлов или сплавов, из которых изготовлены стержни.

В промышленности применяют преобразователи из следующих сплавов: хромель-копель (ХК), хромель-алюмель (ХА), платинородий-платина (ПП), платинородий (30 % родия)-платинородий (6 % родия) (ПР). Каждый тип термоэлектрического преобразователя (ХК, ХА, ПП, ПР) имеет свою градуировочную характеристику — зависимость между разницей температур горячего и холодных концов и возникающей между ними т. э. д. с.

Термоэлектрпреобразователь устроен аналогично термопреобразователю сопротивления (рис. 43). Чувствительный элемент, помещенный в корпус 1, представляет собой спай термоэлектродов, припаянный к серебряному диску (горячий конец). Термоэлектроды изготовляют из указанных выше металлов или сплавов. Термоэлектроды выведены через каналы изолирующих бус на зажимы головки 3. К корпусам аппаратов или трубопроводов термоэлектрпреобразователь крепят штуцерами или фланцами.

Сложность применения термоэлектрпреобразователей заключается в необходимости стабилизации температуры их свободных (холодных) концов. Если температура хо-

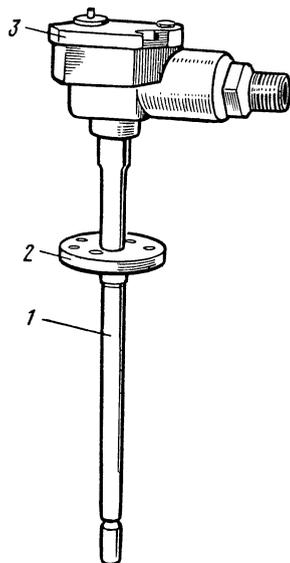


Рис. 43. Термоэлектрический преобразователь хромель-копель (ТХК):

1 — корпус, 2 — фланец, 3 — головка с уплотнением

лодных концов, т. е. температура окружающего воздуха, будет изменяться, а температура, измеряемая в точке погружения горячего конца, останется неизменной, значения т. э. д. с. тоже будут изменяться. Нечувствительности системы измерения к колебаниям температуры холодных концов достигают путем термостатирования холодных концов термоэлектрпреобразователя, электрической компенсацией температурных влияний в месте установки термоэлектрпреобразователя или электрической компенсацией температурных влияний в месте установки вторичного прибора.

На практике в основном применяют последний способ, при котором соединительную линию между термоэлектрпреобразователем и вторичным прибором монтируют специальными компенсационными проводами. Для каждого типа термоэлектрпреобразователя установлена определенная марка компенсационных проводов. При подсоединении холодных концов термоэлектрпреобразователя к компенсационным проводам между каждым термоэлектродом и проводом образуется дополнительная термопара. Материалы компенсационных проводов и способ их подключения выбирают такими, чтобы т. э. д. с. каждой дополнительной термопары были равны между собой и включены встречно. В этом случае суммарная т. э. д. с. будет зависеть только от разности температур горячего конца термоэлектрпреобразователя и свободных концов компенсационных

проводов, подключаемых на вход вторичного прибора. Во вторичном приборе устанавливают устройство, которое автоматически вносит поправку в значение т. э. д. с. в зависимости от температуры, при которой находятся свободные концы компенсационных проводов внутри прибора.

Манометрические термометры (ГОСТ 8624—80) применяют для измерения температуры в зонах аппаратов. Принцип их действия основан на зависимости между температурой и давлением жидкости или газа при постоянном объеме. Измерительную систему термометра заполняют жидкостью или газом. Термобаллон 7 (рис. 44, а) погружают в среду, температуру которой будут измерять. С помощью капилляра 6 термобаллон 7 соединяют с манометром 9. При изменении температуры среды, в которую погружен термобаллон, изменяется давление заполняющей систему жидкости или газа. Через капилляр 6 это давление подводится к пружине 1 (рис. 44, б), припаянной к корпусу 8.

При повышении температуры термобаллона 7 давление заполняющего систему газа увеличивается и под его действием раскручивается манометрическая пружина. При уменьшении температуры пружина соответственно закручивается. Через тягу 4 перемещение конца пружины передается на трибко-секторный механизм. На ось 5 трибки насажена стрелка 2. На ось 3 трибки насажена стрелка 1.

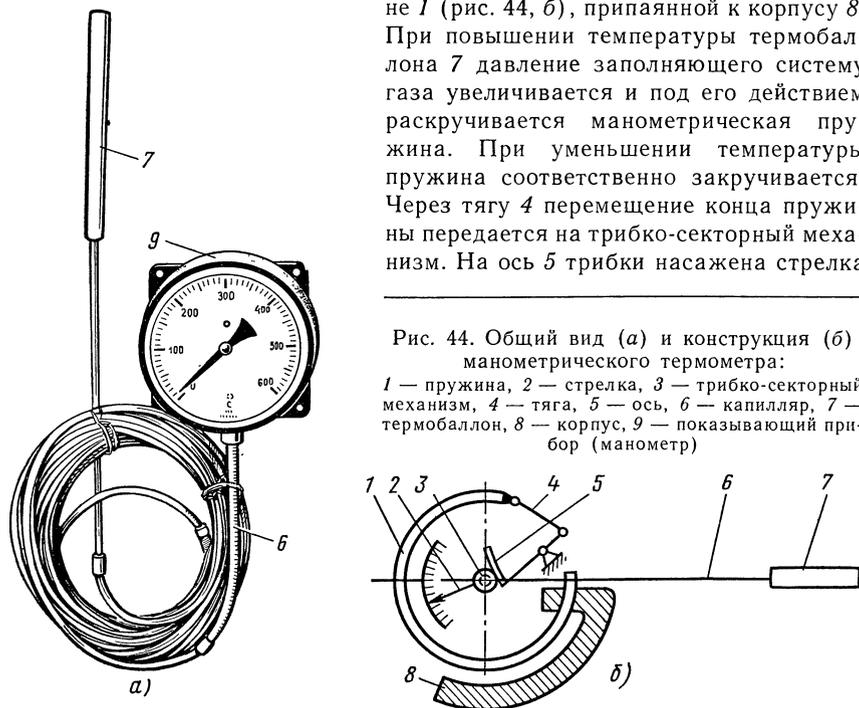


Рис. 44. Общий вид (а) и конструкция (б) манометрического термометра:

1 — пружина, 2 — стрелка, 3 — трибко-секторный механизм, 4 — тяга, 5 — ось, 6 — капилляр, 7 — термобаллон, 8 — корпус, 9 — показывающий прибор (манометр)

2, перемещающаяся по шкале пропорционально изменению давления.

Для измерения температур применяют спектральные, радиационные и другие методы, не рассматриваемые в настоящем учебнике.

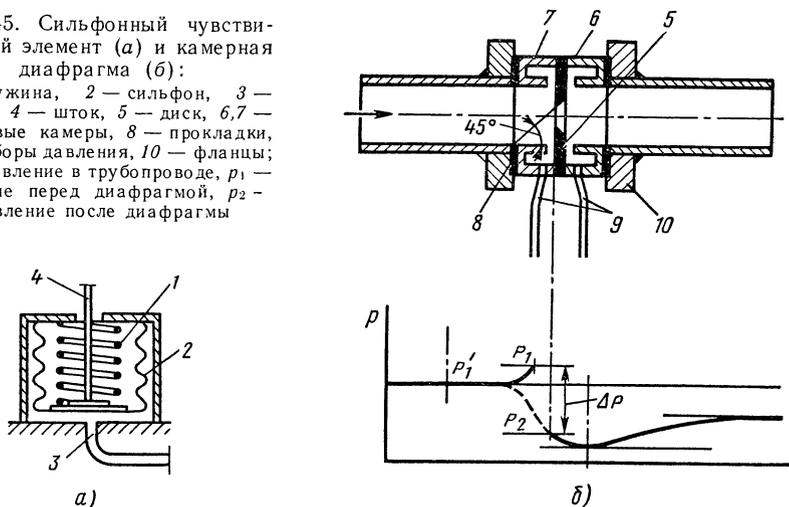
§ 20. Измерительные преобразователи и приборы давления и расхода

Для измерения давления используют манометры и тягонапоромеры. По конструкции манометры делят на пружинные и с сильфонными и мембранными чувствительными элементами.

Конструкция и принцип действия *пружинных* манометров в основном аналогичны манометрическому термометру, описанному в § 19. Эти манометры применяют для измерения средних давлений. Для измерения малых давлений и разрежений применяют манометры и тяго- и напорометры с сильфонными и мембранными чувствительными элементами. *Сильфон* представляет собой гофрированную цилиндрическую емкость, которая изменяет свои линейные размеры при перепаде давлений внутри и вне ее. Сильфон растягивается спиральной пружиной 1 (рис. 45). Если повышается давление в корпусе 3 сильфонного механизма, то сильфон сжимает пружину 1 и шток 4 перемещается на расстояние, пропорциональное перепаду давлений в корпусе 3 и полости сильфонного механизма.

Рис. 45. Сильфонный чувствительный элемент (а) и камерная диафрагма (б):

1 — пружина, 2 — сильфон, 3 — корпус, 4 — шток, 5 — диск, 6, 7 — кольцевые камеры, 8 — прокладки, 9 — отборы давления, 10 — фланцы; p_1 — давление в трубопроводе, p_2 — давление после диафрагмы



Мембранный чувствительный элемент представляет собой замкнутое пространство, ограниченное с одной стороны гибкой металлической или резиновой мембраной. Мембраны подпружиниваются, и при увеличении или уменьшении давления в чувствительном элементе их центры перемещаются. Эти перемещения через различные механические сочленения передаются на стрелку показывающего прибора или на устройство дистанционной передачи. В некоторых типах приборов измеряется не перемещение чувствительного элемента, а усилие, развиваемое им.

Для измерения расходов жидкостей и газов используют в основном два вида расходомеров — переменного перепада и постоянного, а также электромагнитные (индукционные).

В основу принципа действия *расходомеров переменного перепада* положено измерение перепада давления на сопротивлении, введенном в поток жидкости или газа.

Любая движущаяся система характеризуется соотношением ее кинетической и потенциальной энергий. Для жидкостей или газов, протекающих в трубопроводе, кинетическая энергия будет определяться скоростью движения среды через поперечное сечение трубопровода, а потенциаль-

ная — давлением в трубопроводе. При увеличении скорости протекания среды давление падает, и наоборот, т. е. происходит превращение одного вида энергии в другой.

Это явление широко используется при создании преобразователей расхода переменного перепада. В трубопровод, в котором необходимо измерить расход, вводят сопротивление, уменьшающее площадь поперечного сечения трубы. В месте установки сопротивления скорость жидкости резко возрастает. Если измерить давление до сопротивления и непосредственно за ним, то разность давлений (перепад) будет зависеть от скорости потока, а следовательно, и от расхода. Такие сопротивления, устанавливаемые в трубопроводах, называются сужающими устройствами. В качестве сужающих устройств в системах контроля расхода широко применяют нормальные диафрагмы. Комплект диафрагмы состоит из диска 5 (рис. 45, б) с отверстием, кромка которого с плоскостью диска составляет угол 45° . Диск 5 помещается между корпусами кольцевых камер 6 и 7. Между фланцами 10 и камерами 6 и 7 установлены прокладки 8. Отборы давления 9 до и после диафрагмы устанавливаются на кольцевых камерах.

До диафрагмы давление в трубопроводе p_1' . Непосредственно перед диафрагмой давление возрастает до p_1 и резко снижается до p_2 за диафрагмой. Затем давление в трубопроводе выравнивается и становится меньше p_1' за счет потерь на диафрагме. Установлено, что перепад давления на диафрагме $\Delta p = p_1 - p_2 = kQ^2$, где k — коэффициент, зависящий от свойств жидкости и геометрических размеров устройства (определяют по справочнику); Q — расход среды (т/ч, м³/ч).

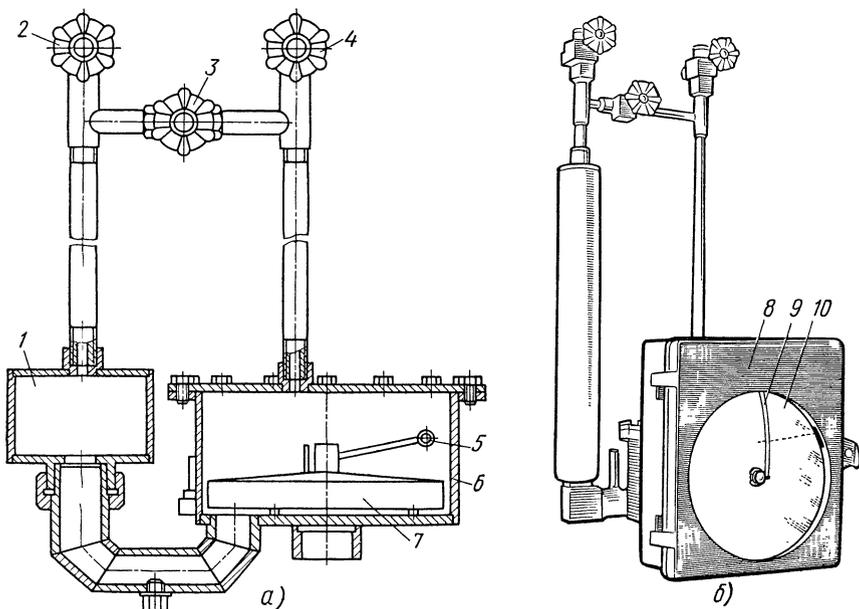


Рис. 46. Чувствительный элемент (а) и общий вид (б) поплавкового дифманометра: 1 — минусовой сменный сосуд, 2—4 — вентили, 5 — ось, 6 — плюсовой сосуд, 7 — поплавок, 8 — корпус, 9 — перо, 10 — диаграмма

Рис. 47. Мембранный преобразователь перепада давления:
 1—2 — мембранные коробки, 3 — плюсовая трубка, 4 — сердечник, 5 — скоба, 6, 10 — резисторы, 7—9 — вентили, 11 — минусовая трубка, 12, 16 — крышки, 13 — диафрагма, 14 — пробка, 15 — болт

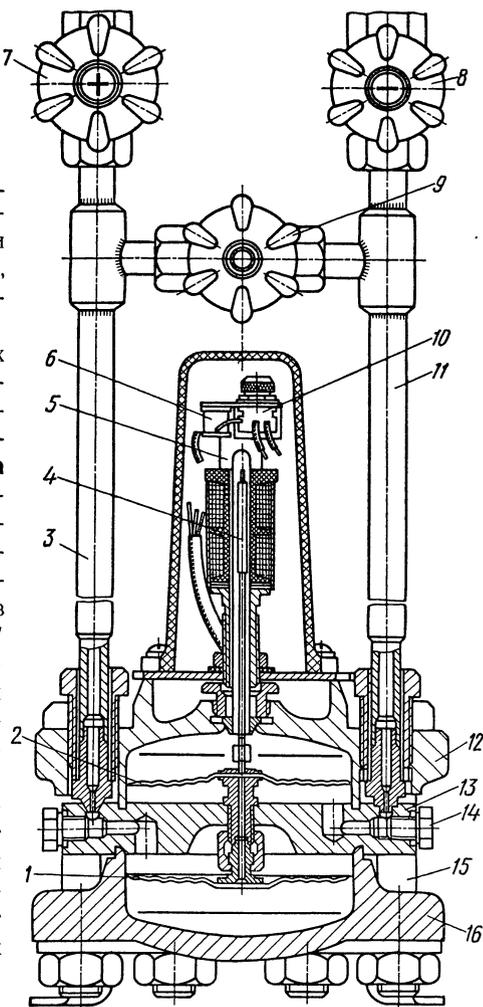
Применение сужающих устройств ограничено диаметрами трубопроводов ($d > 50$ мм) и, следовательно, измеряемым расходом (не ниже $25 \text{ м}^3/\text{ч}$).

В качестве измерительных приборов и передающих преобразователей в комплекте с преобразователями переменного перепада для измерения расхода применяют поплавковые жидкостные дифференциальные манометры (дифманометры). Чувствительный элемент дифманометра (рис. 46, а) состоит из плюсового 6 и минусового 1 сообщающихся сосудов. К плюсовому сосуду 6 подводится большее давление (уменьшаемое), а к минусовому — меньшее (вычитаемое).

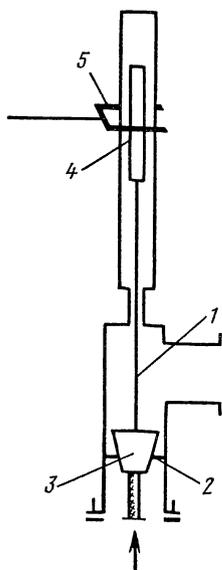
В плюсовом сосуде 6 на поверхности жидкости плавает пустотелый поплавок 7, который связан через ось 5 с измерительным механизмом. Отключают дифманометр от соединительных линий вентилями 2 и 4. Давление в сосудах 6 и 1 уравнивают вентилем 3.

При изменении перепада давления на диафрагме часть жидкости перераспределяется между сосудами 1 и 6, о чем судят по перемещению поплавка 7 в плюсовом сосуде. Высота перемещения поплавка 7 передается на измерительный механизм, расположенный в корпусе 8 (рис. 46, б). Измеренный перепад давления записывается пером 9 на дисковой диаграмме 10. Диапазон измерений можно изменять заменой минусового сосуда 1 сосудом другого размера.

В системах дистанционного контроля расхода в качестве передающих преобразователей применяют, например, бесшкальные мембранные преобразователи перепада давления (рис. 47), чувствительный элемент которых состоит из двух сообщающихся между собой мембранных коробок 1 и 2. Измеряемое давление подводится к трубкам 3 и 11, на которых установ-



лены запорные 7 и 8 и уравнильный 9 вентили. Под воздействием перепада давлений в плюсовой (между крышкой 16 и диафрагмой 13) и минусовой (между крышкой 12 и диафрагмой 13) камерах мембранная коробка 1 сжимается и жидкость из нее перетекает в коробку 2, вызывая перемещение сердечника 4 дистанционной передачи показаний.



Расходомеры постоянного перепада применяют для измерения расходов до $20 \text{ м}^3/\text{ч}$. Преобразователь постоянного перепада устроен следующим образом. Внутри патрубка или трубы с диафрагмой 2 (рис. 48) помещают поплавок 3, свободно перемещающийся в трубе. При восходящем потоке жидкости или газа на диафрагме 2 создается перепад давлений, который уравнивается весом поплавка 3. При увеличении расхода перепад увеличивается и поплавок 3 перемещается вверх до тех пор, пока площадь зазора между поплавком 3 и диафрагмой 2 не увеличится до значения, при котором сила, вызванная увеличением перепада давления на поплавке, снова не уравновесится его весом. Перемещение поплавка 3 передается на стрелку показывающего прибора через шток 1, магнит 4 и муфту 5.

Рис. 48. Чувствительный элемент расходомера постоянного перепада:

1 — шток, 2 — диафрагма, 3 — поплавок, 4 — магнит, 5 — магнитная муфта

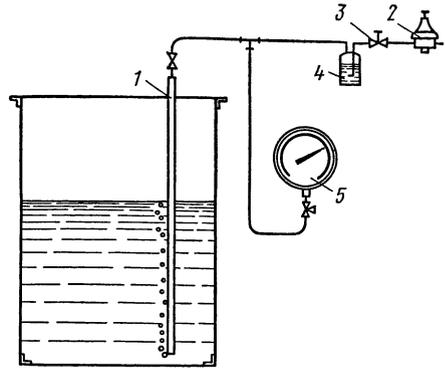
§ 21. Приборы и преобразователи для измерения уровня

Для измерения уровня жидкости с постоянной плотностью применяют гидростатические и буйковые уровнемеры и преобразователи уровня.

Принцип действия гидростатических уровнемеров основан на измерении давления внутри жидкости, определяемого массой столба жидкости, расположенного между точкой измерения и поверхностью жидкости в емкости. Если емкость открыта и жидкость, уровень которой измеряют, неагрессивна, то в качестве измерительного прибора применяют манометры (при высоте емкости не ниже 4 м) или напоромеры (при высоте емкости ниже 4 м), устанавливаемые вблизи днища резервуара. Конструкции этих приборов описаны в § 20. Давление, показываемое прибором, при постоянной плотности жидкости будет пропорционально уровню жидкости.

Для измерения уровня агрессивных жидкостей, контакт которых с чувствительным элементом недопустим, отделяют чувствительный элемент прибора от агрессивной жидкости потоком сжатого воздуха или газа, который подают в соединительную линию. В этом случае чувствительный элемент манометра не будет контактировать с жидкостью, уровень которой измеряют. Гидростатический преобразователь уровня, построенный по такому принципу, представляет собой трубку 1 (рис. 49), в

Рис. 49. Принципиальная схема гидростатического измерения уровня:
 1 — трубка, 2 — редукционный пневмоклапан, 3 — вентиль, 4 — стакан, 5 — манометр



которую от редукционного пневмоклапана 2 через вентиль 3 и стакан 4 подают сжатый воздух. При небольшом расходе воздуха, который регулируют вентилем по числу пузырьков воздуха в стакане 4 за единицу времени, давление, измеренное манометром 5, будет равно гидростатическому давлению столба жидкости между концом трубки и поверхностью жидкости. При постоянной плотности жидкости показания манометра будут пропорциональны уровню жидкости.

Уровень в емкости, которая находится под давлением p_{II} , измеряют дифманометром. Перепад давлений (рис. 50, а) $p = (p_{II} + p_r) - p_{II} = p_r$, т. е. гидростатическому давлению жидкости.

Отборы 1 и 2 (рис. 50, а) дифманометра устанавливают сверху и внизу емкости, уравнильный сосуд 3 — на уровне отбора 2 и заливают в него измеряемую жидкость. Сосуд соединяют с отбором 1. В том случае, когда над поверхностью жидкости находятся конденсирующиеся пары или газы, уравнильный сосуд 3 (рис. 50, б) устанавливают на уровне отбора 1 и соединяют с ним. При конденсации паров или газов в сосуде уровень в нем остается постоянным, так как излишки конденсата сливаются в емкость через соединительную линию и отбор 1. При верхнем расположении сосуда нулевому перепаду давления соответствует максимальное значение измеряемого уровня и шкала дифманометра будет обратной.

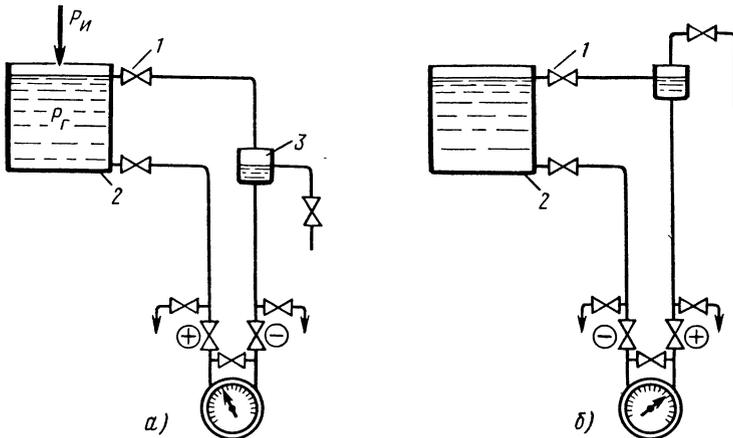
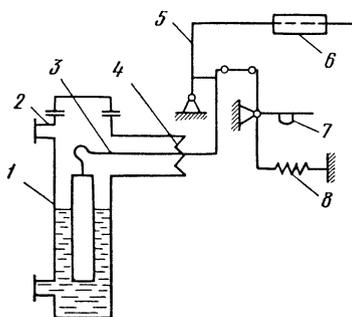


Рис. 50. Дифманометрический уровень с прямой (а) и обратной (б) шкалой:

1, 2 — отборы, 3 — уравнильный сосуд

ния уровня агрессивной жидкости в обе трубки под одинаковым давлением (большим p_n) и с одинаковым расходом продувается сжатый воздух.

Буйковые измерительные преобразователи уровня применяют для точного измерения уровня жидкости в сосудах, находящихся под давлением до 40 МПа. Они бывают камерные и бескамерные. В камерных преобразователях уровня камера 1 (рис. 51) патрубками 2 подсоединяется к сосуду, где измеряют уровень. В камере на рычаг 3 подвешен буюк. Через стальную гибкую мембрану 4 рычаг выведен из камеры. По закону Архимеда при погружении в жидкость на буюк будет



действовать выталкивающая сила, равная весу жидкости, вытесненной погруженной частью буйка. Максимальное усилие, действующее со стороны буйка на рычаг 3, будет при отсутствии жидкости в камере (нулевой уровень), минимальное — при полном погружении буйка. Создаваемый момент силы

Рис. 51. Принципиальная схема буйкового преобразователя уровня:

1 — камера, 2 — патрубок, 3, 5 — рычаги, 4 — мембрана, 6 — грузы, 7 — опора, 8 — корректор нуля

измеряют и по нему судят о значении уровня жидкости. Диапазон измерения преобразователя определяется длиной поплавка и высотой установки камеры на емкости. Поскольку преобразователи с различными диапазонами измерения имеют различную массу, для компенсации начального усилия предусмотрен рычаг 5 с противовесом 6, который может перемещаться по этому рычагу 3.

В бескамерных преобразователях уровня поплавки помещены непосредственно в сосуд, в котором измеряют уровень. Если плотность измеряемой жидкости в заранее известный момент и на известный срок изменяется, шкалы приборов переделывают и показания корректируют.

Измерять уровень жидкости, изменение плотности которой носит случайный характер, рассмотренными приборами нельзя.

Для измерения уровня жидкости с переменной плотностью, а также уровня сыпучих материалов применяют емкостные преобразователи уровня. Действие емкостных преобразователей уровней основано на изменении емкости электродной системы при изменении измеряемого уровня. В сосуд, в котором измеряют уровень, вертикально погружают изолированный электрод (например, трос на изоляторах). Измерительный прибор измеряет емкость конденсатора, обкладками которого являются изолированный электрод и корпус сосуда (земля). При изменении уровня изменяется емкость конденсатора, так как изменяется диэлектрическая проницаемость среды между обкладками. Если электрод расположить не вертикально, а горизонтально, то изменение емкости будет происходить резко, скачком, так как жидкость или сыпучая среда достигнет электрода одновременно по всей поверхности. Резкое изменение емкости может быть зафиксировано сигнальным устройством.

§ 22. Анализаторы свойств жидкостей и газов

При управлении технологическими процессами необходимо непрерывно контролировать и регулировать такие показатели свойств сырья, полу-продуктов на разных стадиях и конечных продуктов, как плотность, влажность, физико-химический состав, вязкость и т. п. Как правило, именно эти свойства и определяют качество конечного продукта. Например, при производстве кислот и щелочей необходимо строго выдерживать их концентрацию, нефтепродуктов — химический состав.

Рассмотрим анализаторы плотности — плотномеры и состава газов — газоанализаторы.

Плотномеры бывают буйковыми и гидростатическими. Принцип действия *буйковых плотномеров* основан на законе Архимеда. Конструкция чувствительных элементов таких плотномеров аналогична конструкции чувствительных элементов буйковых преобразователей уровня, буюк которых полностью погружен в жидкость (затоплен). В этом случае на тягу (см. рис. 51) со стороны буйка будет действовать сила $F = G_n - F_v = G_n - V_n \rho_{ж}$, где G_n — масса поплавка; F_v — выталкивающая сила; V_n — объем поплавка; $\rho_{ж}$ — плотность жидкости.

Измеряя изменение силы F , измеряют пропорциональное изменение плотности жидкости.

Гидростатические преобразователи плотности по устройству аналогичны гидростатическим преобразователям уровня с той лишь разницей, что измеряется гидростатическое давление столба жидкости при постоянной его высоте.

Для измерения плотности агрессивных жидкостей гидростатическими плотномерами места отборов продувают нейтральным газом.

Плотномеры могут быть дифференциальными. В этом случае измеряется разность гидростатического давления между сравнительным (столб жидкости с известной плотностью) и измеряемым столбами жидкости. Рассмотрим дифференциальный сифонный гидростатический преобразователь плотности типа ПЖС (рис. 52). Через корпус *1* пропускают жидкость в направлении, указанном на рисунке стрелками. Внутренние полости сифонов *4, 5* и *7* соединены между собой и через штуцера *9* и *10* заполняются жидкостью. В качестве заполнителя (эталонной жидкости) выбирают жидкость, плотность которой равна нижнему пределу измерений системы, а коэффициент расширения — коэффициенту измеряемой жидкости. Как правило, это измеряемая жидкость с плотностью, равной зна-

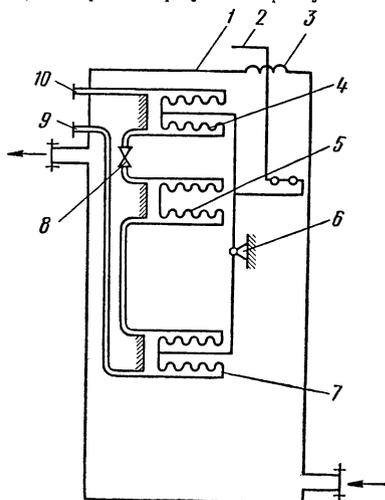


Рис. 52. Принципиальная схема сифонного плотномера:

1 — корпус, *2* — рычаг, *3* — мембрана, *4, 5, 7* — сифоны, *6* — опора, *8* — вентиль, *9, 10* — штуцера

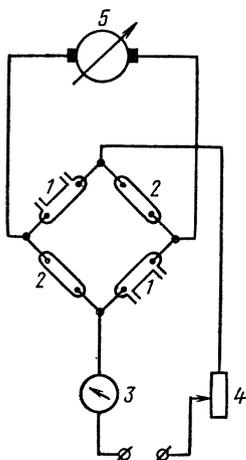
чению, соответствующему начальной точке диапазона измерения.

При плотности измеряемой жидкости, отличающейся от эталонной, на сильфоны 4 и 7 будут действовать силы, разность между которыми будет равна разности положения сильфонов по вертикали (база плотномера), умноженной на разность плотностей измеряемой и эталонной жидкостей.

При изменении температуры измеряемой жидкости аналогично изменятся и температура жидкости в погружаемой в нее эталонной системе. Поэтому на точности измерений изменение температуры измеряемой жидкости не скажется. Относительно точки опоры 6 начнет действовать момент сил, пропорциональный плотности жидкости. Этот момент через рычаг 2, выведенный из корпуса через упругую мембрану 3, измеряют и определяют значение плотности. Изменение давления в эталонной системе, вызываемое изменением температуры жидкости, компенсируется сильфоном 5, который изменяет свой объем. При проверке плотномера вентиль 8 закрывают.

Автоматические газоанализаторы применяют для контроля концентрации компонента в бинарных или многокомпонентных газовых смесях. Теплопроводность ряда газов (водорода, сероводорода, хлора, углекислого газа) значительно выше теплопроводности воздуха. Это свойство используют при конструировании газоанализаторов.

Простейшая принципиальная схема газоанализатора для измерения содержания газа в смеси представляет собой электрический мост (рис. 53). Плечи моста выполнены из платиновой проволоки, по которой пропускают электрический ток. Плечевые элементы 2 (сравнительные камеры) помещены в камеры с воздухом, а плечевые элементы 1 (измерительные камеры) обдуваются анализируемой смесью. При наличии в составе смеси компонента, обладающего высокой теплопроводностью, теплопередача в измерительных камерах возрастает и температура измерительных элементов 1 снижается, а значит, и сопротивление элементов 1 уменьшается и мост разбалансируется. Ток в диагонали моста, измеряемый вторичным прибором 5, будет пропорционален содержанию измеряемого компонента.



Для измерения содержания кислорода в газовых смесях используют его парамагнитные свойства. Молекулы кислорода при наличии внешнего магнитного поля ориентируются по направлению поля и начинают перемещаться в зону высокой напряженности. В стороне от потока измеряемого газа помещают нагреваемый металлический проводник и ориентируют магнитное поле таким образом, чтобы молекулы кислорода отклонялись в зону, где расположен проводник. В этом случае из общего потока выделяется поток кислорода, направляющийся на плечевой элемент. Чем выше

Рис. 53. Принципиальная схема газоанализатора: 1 — измерительные камеры, 2 — сравнительные камеры, 3, 4 — устройство для регулировки рабочего тока, 5 — вторичный прибор

содержание кислорода в смеси, тем большим будет его поток и тем ниже будут температура и сопротивление проводника. Вблизи проводника молекулы кислорода теряют магнитные свойства и конвективным потоком уносятся из его зоны.

Принципиальная схема термомагнитного газоанализатора на кислород (рис. 54) содержит измерительный *I* и сравнительный *II* мосты, питаемые переменным током. Плечи *R1* и *R2* мостов выполнены из платины, а плечи *R3* и *R4* — из марганца. Через плечи *R1* и *R2* моста *I* пропускается газовая смесь, а через плечи моста *II* — воздух. Такая схема устойчива к колебаниям температуры в месте установки прибора и к изменению напряжения питания.

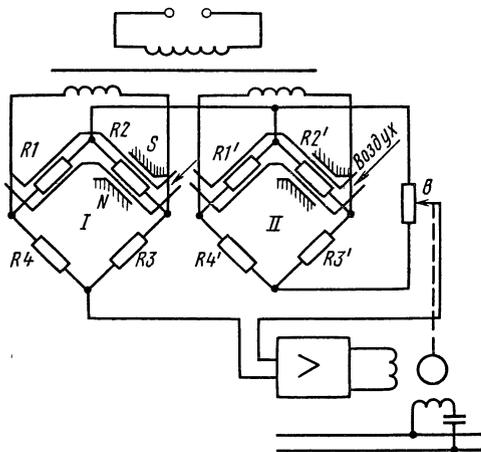


Рис. 54. Принципиальная схема термомагнитного газоанализатора:
R1, R2 — платиновые элементы, *R3, R4* — марганцевые резисторы, *B* — реохорд

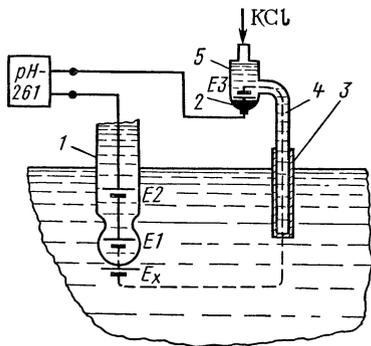


Рис. 55. Принципиальная схема электрической цепи для измерения pH растворов:

1, 2 — измерительный и вспомогательный электроды, *3* — пористая перегородка, *4* — ключ (трубка), *5* — бачок

При управлении различными технологическими процессами должна быть определена химическая активность сред. Особенно важно определять химическую активность жидкостей при управлении процессами очистки сточных вод промышленных предприятий. Активность определяют по активности ионов водорода в растворе. Для численной оценки активности жидкостей применяют логарифмическую величину $pH = -\lg a_H$, где a_H — активность ионов водорода. Дистиллированной воде соответствует $pH = 7$. Растворы кислот имеют показатели $pH < 7$, а щелочи $pH > 7$.

Способ измерения pH основан на измерении э. д. с. гальванического элемента, который состоит из проводников (электроды и растворы), соединенных последовательно.

Принципиальная схема электрической цепи электродной системы приведена на рис. 55. Электрическая цепь электродной системы состоит из четырех источников э. д. с., включенных последовательно: E_x зависит от активности водородных ионов в растворе; E_2 и E_3 соответствуют э. д. с. измерительного электрода сравнения *1* и вспомогательного электрода *2*.

Электроды *1* и *2* создают электрический контакт между раствором, заполняющим внутреннюю полость стеклянного баллона, и измеритель-

ным прибором и раствором. Электрод 2 соединен с контролируемым раствором через электролитический ключ — трубку 4, которая заполнена раствором хлористого калия, протекающим в емкость через пористую перегородку 3.

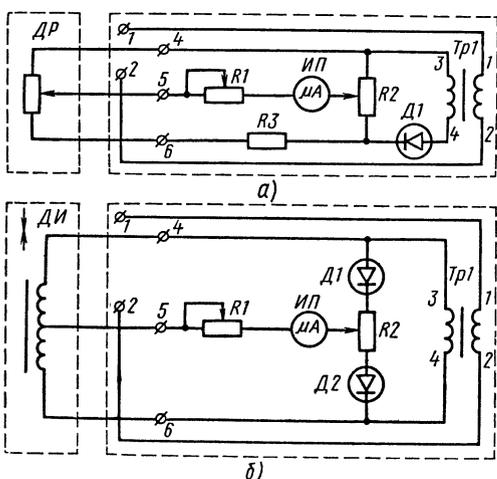
Между заполняющим измерительный электрод раствором и внутренней поверхностью стекла электрода возникает э. д. с. $E1$. Значения $E1$, $E2$, и $E3$ не зависят от pH измеряемого раствора, поэтому суммарная э. д. с. цепи, равная $E = E1 + E2 + E3 + E_x$, определяется E_x , возникающей на наружной поверхности стеклянного электрода. Так как в этой цепи ток должен пройти через стеклянную перегородку, то внутреннее сопротивление источника э. д. с. E_x равно 500—1000 МОм.

§ 23. Системы дистанционной передачи показаний

Системы дистанционной передачи показаний включают в себя передающий преобразователь, канал связи и приемное устройство, чаще выполненное в виде вторичного прибора. По виду используемой ими энергии они бывают электрические и пневматические.

Электрические системы дистанционной передачи показаний бывают реостатные, индукционные, дифференциально-трансформаторные и токовые.

Реостатная система передачи измерительной информации строится следующим образом. От вторичной обмотки трансформатора $Tr1$ (рис. 56, а) выпрямленное напряжение подается на резистор $R2$ приемника и переменные резисторы $R1$ и датчик реостатный $ДР$. В диагональ образованного этими резисторами моста включен измерительный прибор $ИП$. С помощью резистора $R1$ устанавливают степень чувствительности прибора, а резистор $R2$ служит для балансировки моста. $ДР$ соединен с чувствительным элементом передающего преобразователя. При увеличении измеряемой величины движок $ДР$ перемещается, мост разбалансируется и в диагонали протекает ток, пропорциональный перемещению движка $ДР$.



Для передачи показаний в системах, измеряющих отклонения измеряемых величин от среднего значения, применяют измерительный прибор $ИП$ с нулем посередине и балансируют мост при среднем положении движка $ДР$.

Индукционная система передачи показаний строится

Рис. 56. Схема реостатной (а) и индукционной (б) систем передачи показаний:
 $R1$ — $R3$ — резисторы, $ДР$ — реостатный преобразователь, $Д1$, $Д2$ — диоды, $Tr1$ — трансформатор, $ИП$ — измерительный прибор, $ДИ$ — датчик индуктивный

по тому же принципу. Мост переменного тока питается от трансформатора *Tr1* (рис. 56, б). Диоды *D1* и *D2* выпрямляют ток в диагонали моста. Индуктивный датчик *ДИ* представляет собой катушку индуктивности, средняя точка которой включена в диагональ моста. В катушке перемещается пропорционально изменению измеряемой величины сердечник из магнитного материала, который связан с манометрической пружиной, сильфоном, мембраной. Если мост сбалансировать резистором *R2* при среднем положении сердечника, то при изменении измеряемой величины сердечник, перемещаясь вверх или вниз, будет изменять индуктивность, а следовательно, и сопротивление переменному току плечей моста. В диагонали появится ток.

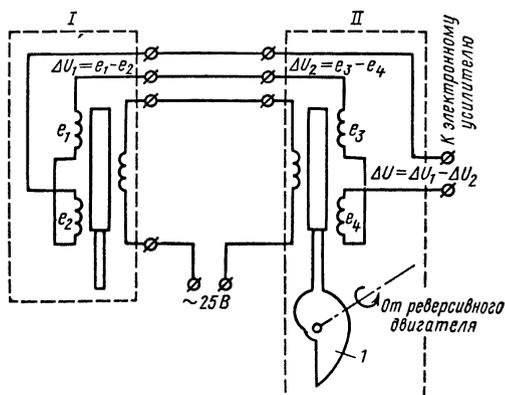
Эти системы настраивают индивидуально для каждой пары «передающий преобразователь — приемное устройство». Их применяют для передачи информации о положении устройств со значительными перемещениями (например, исполнительных механизмов) и в качестве формирующих задания или перенной для регуляторов и т. п.

Дифференциально-трансформаторную систему передачи показаний применяют в измерительных приборах, в которых изменение измеряемой величины преобразуется в возвратно-поступательное перемещение передающего механизма (например, в манометрах, ротаметрах). Дифференциальный трансформатор преобразователя *I* (рис. 57) состоит из первичной питающей обмотки и двух включенных встречно вторичных обмоток, намотанных на один жесткий цилиндрический каркас. Сердечник (плунжер) перемещается внутри каркаса в зависимости от значения измеряемой величины. При отклонении плунжера преобразователя от среднего значения напряжение на выходе дифтрансформатора станет равным $\Delta U_1 = e_1 - e_2$, где ΔU_1 — напряжение на выходе преобразователя; e_1 и e_2 — напряжения на катушках вторичной обмотки.

Изменение напряжения вызывается тем, что взаимдуктивность катушек изменяется, причем в противоположном направлении, и их сопротивление переменному току становится различным.

Дифтрансформаторная система передачи информации предусматривает наличие электронного автоматического вторичного прибора *II*. Плунжер вторичного прибора перемещается лекалом *I*, связанным с двигателем прибора. При изменении положения плунжера преобразователя на вход усилителя поступит разность напряжений $\Delta U = \Delta U_1 - \Delta U_2$. Усилитель будет иметь на своем выходе напряжение, вращающее двигатель до наступления равновесия системы ($\Delta U \approx 0$).

Рис. 57. Схема дифференциально-трансформаторной системы: *I* — преобразователь, *II* — измерительная схема вторичного прибора; *I* — лекало



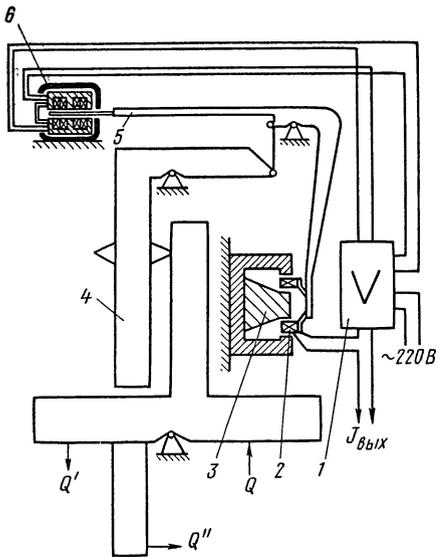


Рис. 58. Электросилового преобразователя:

1 — усилитель, 2 — компенсационная катушка, 3 — магнит, 4 — рычаг, 5 — флажок дифтрансформера, 6 — дифтрансформатор

Усилитель, записывающий механизм и вспомогательные устройства, встроенные во вторичный прибор, аналогичны этим же устройствам для автоматических потенциометров и мостов.

Первичные обмотки питаются переменным током, поступающим со стороны вторичного прибора.

Токовая система передачи показаний является унифицированной, и при изменении измеряемого параметра от нулевого до максимального ее выходной сигнал изменяется в диапазоне 0—5 или 0—20 мА.

Такая система строится по принципу компенсации усилия, развиваемого чувствительным элементом.

Конструкция электросилового преобразователя (рис. 58) не зависит от вида измеряемой величины. Чувствительный элемент передает усилия Q , Q' , Q'' , которые прикладывают к основному рычагу преобразователя в точках, расположение которых зависит от характера измеряемой величины (например, Q — для давления, Q'' — для перепада давлений, Q' — для температуры). Через рычаг 4 это усилие перемещает коромысло и играющий роль плунжера флажок 5 относительно дифтрансформатора 6.

Сигнал переменного тока при смещении флажка поступает на вход полупроводникового усилителя, от источника питания которого получает питание первичная обмотка дифтрансформатора. К выходу усилителя 1 последовательно подключают компенсационную катушку 2, находящуюся в поле постоянного магнита 3, и нагрузку, представляющую собой линию связи и входы одного или нескольких вторичных приборов (например, миллиамперметров, преобразователей, регуляторов). Равновесие системы, т. е. момент, когда сигнал на входе усилителя равен 0, возможно лишь в том случае, когда усилие, создаваемое компенсационной катушкой 2, будет равно и направлено навстречу усилию Q , созданному чувствительным элементом.

Соотношение плеч кинематической пары рычагов подбирают так, чтобы усилие, развиваемое при максимальном значении измеряемой величины, компенсировалось при значении выходного сигнала 5 или 20 мА.

Преобразователь и усилитель представляют собой отдельные изделия, которые поставляют вместе. Усилитель устанавливают от преобразователя на расстоянии не более 3 м.

В качестве вторичных приборов для работы в токовой системе передачи показаний применяют автоматические электронные миллиамперметры типа КСУ, которые представляют собой потенциометры. Потенци-

метр измеряет падение напряжения на резисторе, который включен на его входе параллельно измеряемой цепи.

Пневматическую систему передачи показаний широко применяют в химических, нефтехимических и других пожаро- и взрывоопасных производствах. Она состоит из преобразователей с унифицированным выходным сигналом 0,02—0,1 МПа и ряда вторичных приборов, предназначенных для индикации и регистрации измеряемых величин в виде пневматического сигнала, изменяющегося в тех же пределах.

В автоматических системах приборов и устройств, относящихся к электрической и пневматической ветвям ГСП, применяют электропневматические (ЭПП) и пневмоэлектрические (ПЭ) преобразователи.

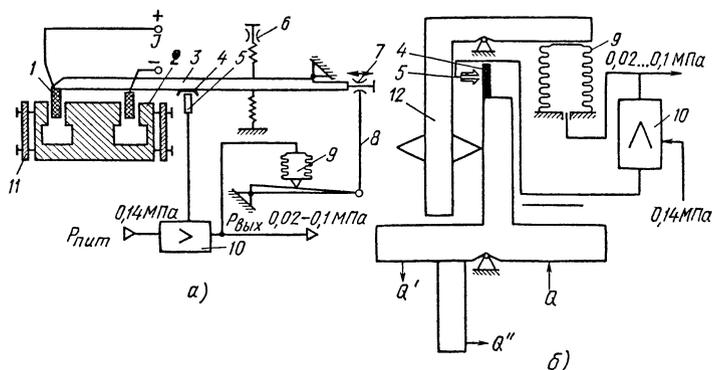


Рис. 59 Электропневматический (а) и пневмосиловой (б) преобразователи: 1 — катушки, 2 — магнит, 3 — балка, 4 — заслонка, 5 — сопло, 6, 7 — корректоры, 8 — тяга, 9 — сильфон, 10 — усилитель, 11 — шунт, 12 — рычаг

В электропневматическом преобразователе (рис. 59, а) ток, изменяющийся в диапазоне 0—5 мА, подводят к катушкам 1, перемещающимся в поле постоянного магнита 2. С катушками жестко связана балка 3, на которой укреплена заслонка 4. При изменении значения тока I вследствие взаимодействия полей катушек и магнита возникает усилие, которое перемещает балку с заслонкой относительно сопла 5. Изменение давления в линии сопла, вызванное этим перемещением, приводит к изменению давления на выходе усилителя 10 и в полости сильфона обратной связи 9. Например, при увеличении тока балка с катушками будет втягиваться в полость магнита, сопло приблизится к заслонке и давление на выходе ЭПП будет возрастать до тех пор, пока усилие сильфона 9, переданное на балку через тягу 8, не уравновесит новое значение силы взаимодействия полей катушки и магнита, соответствующее новому значению тока.

Геометрические размеры балок и положения точек опоры выбраны таким образом, чтобы при изменении тока от 0 до 5 мА выходное давление $P_{\text{вых}}$ изменялось бы от 0,02 до 0,1 МПа. Пружина 6 (корректор) предназначена для регулировки выходного давления $P_{\text{вых}} = 0,02$ МПа при $I = 0$. Для грубой корректировки диапазона изменения выходного давления служит геометрический корректор диапазона 7, точную корректировку производят с магнитными шунтами 11, которые перемещают с помощью винтов относительно магнита 2, увеличивая или ослабляя его поле.

Этот же принцип лежит в основе конструирования пневмоэлектрических преобразователей. У преобразователей ПЭ в отличие от ЭПП чувствительным элементом является сильфон, в который подают давление 0,02—0,1 МПа, а катушки с постоянным магнитом являются элементом обратной связи.

В пневмосиловом преобразователе (рис. 59, б) усилие, развиваемое чувствительным элементом, поворачивает основной рычаг вокруг оси против часовой стрелки. При этом заслонка 4 приближается к соплу 5, из которого свободно истекает сжатый воздух. Сопло 5 питается от усилителя 10 через капиллярное отверстие, поэтому приближение или удаление заслонки от сопла на несколько микрон вызывает резкое изменение давления в линии сопла. Комплект, состоящий из сопла и заслонки, называют реле «сопло-заслонка». Изменение сигнала на выходе реле воспринимает усилитель 10, который изменяет давление в компенсирующем сильфоне 9 так, что усилие, развиваемое сильфоном и передаваемое на рычаг 12 и на основной рычаг, уравнивается усилием, развиваемым чувствительным элементом.

§ 24. Вторичные приборы

Для измерения электрических сигналов применяют электронные компенсаторы (ГОСТ 7164—78). В комплекс этих приборов входят миллиамперметры КПУ (показывающие) и КСУ (регистрирующие унифицированный токовый сигнал), дифференциально-трансформаторные компенсаторы КПД и КСД (ГОСТ 19610—74) для измерения взаимной индуктивности, автоматические потенциометры КПП и КСП и мосты КПМ и КСМ.

Первая буква в наименовании прибора означает принцип действия — компенсационный; вторая — характер измерения — показывающий (П) или регистрирующий (С), третья — назначение прибора — потенциометр (П), мост (М), миллиамперметр (У) дифференциально-трансформаторный (Д).

Приборы комплекса имеют четыре основные серии: КС1 (КП1) — миниатюрные одноточечные с шириной диаграммной ленты 100 мм; КС2 — малогабаритные одно- и многоточечные с шириной диаграммной ленты 160 мм; КС3 — крупногабаритные одноточечные с дисковой диаграммой; КС4 — одно- и многоточечные с ленточной диаграммой и шириной диаграммной ленты 250 мм.

Упрощенная структурная схема приборов типа КС показана на рис. 60. Приборы отличаются измерительной схемой и типом усилителя, присоединительные и габаритные размеры которых унифицированы. В потенциометрах типа КСП применяют усилители типа УПД-1, в мостах КСМ — типа УПД2, в дифференциально-трансформаторных приборах КСД — типа УПД3. Усилитель УПД1 предназначен для усиления сигнала постоянного тока, УПД2 и УПД3 — переменного. Усилители подключают к измерительной схеме и к выходным устройствам шлангами, имеющими разъемы типа «штепсель — вилка» (штепсельные разъемы). Входные сигналы усилителей формируются измерительными схемами приборов.

Для измерения сопротивления или температуры с помощью термопреобразователей сопротивления применяют схему моста (рис. 60, а). В

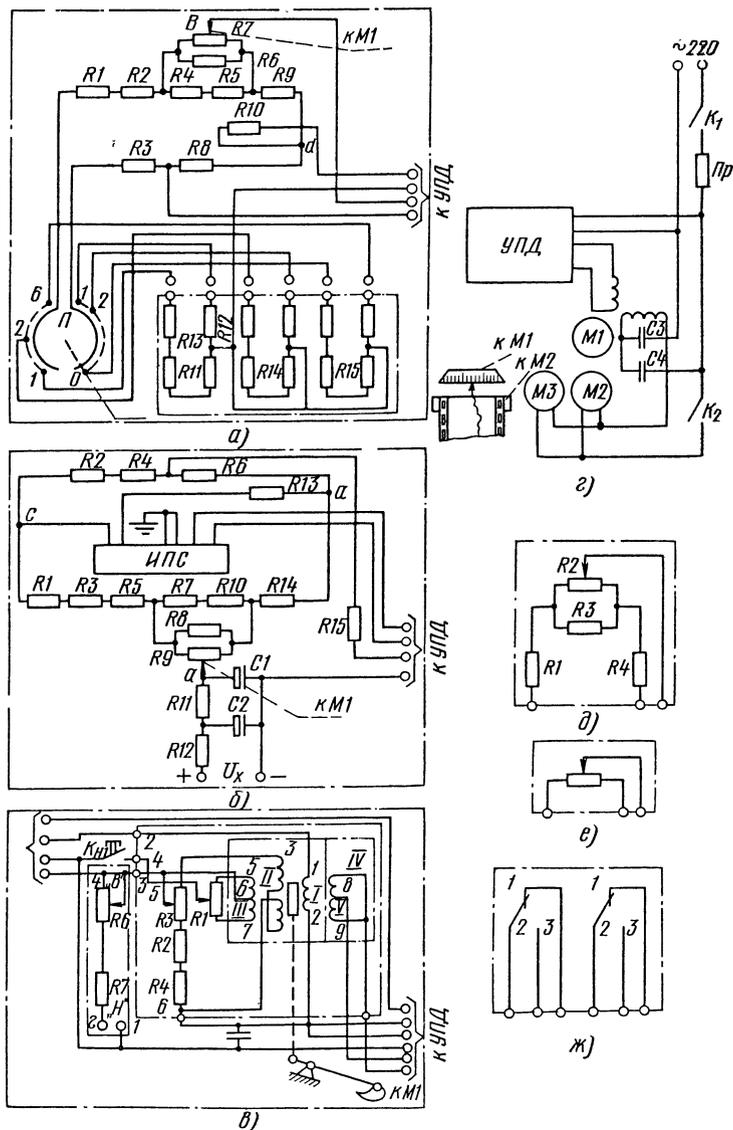


Рис. 60. Упрощенная схема приборов КС:

а — моста, б — измерительная схема потенциометра, в — дифтрансформаторного прибора, г — диаграмма, д — задатчик, е — реостатный датчик, ж — сигнальное устройство

диагональ моста, составленного из резисторов $R1—R10$, от усилителя подается переменное напряжение (точки B и d на схеме). При изменении сопротивления резистора $R11$ переменное напряжение, подаваемое на вход усилителя (точки B и d), усиливается до значения, достаточного для вращения двигателя $M1$, который перемещает движок переменного резистора

(реохорда) $R7$ до тех пор, пока напряжение на входе усилителя не станет равным нулю. Резисторы $R4$, $R5$ и $R6$ служат для изменения пределов измерения моста. С помощью резисторов $R12$ и $R13$ сопротивление измерительной линии устанавливают равным номинальному значению для данного типа мостов.

Если мост предназначен для измерения температуры в нескольких точках, то в него встраивают переключатель каналов измерения Π . При включении двигателя $M3$ переключатель последовательно подключает к входу измерительной схемы (термопреобразователи $R14$, $R15$ и т. д.). Требуемую скорость переключений устанавливают путем изменения передаточного числа редуктора двигателя $M3$. У регистрирующих приборов перемещение диаграммной ленты производится двигателем $M2$.

В прибор могут быть встроены дополнительные устройства. Задатчик (рис. 60, *д*) позволяет получить напряжение, пропорциональное значению измеряемой величины. Движок переменного резистора $R2$ связан со стрелкой прибора и при ее перемещении последовательно проходит точки различного потенциала. Резисторы $R1$, $R4$ и $R3$ служат для установки начального значения потенциала задания, снимаемого с движка резистора $R2$, и изменения крутизны статической характеристики задатчика. Реостатный датчик (рис. 60, *е*) представляет собой переменный резистор, движок которого связан со стрелкой прибора и перемещается от начального до конечного значения при изменении измеряемой температуры от минимального до максимального значения. При этом изменяется сопротивление, измеряемое между движком и любым полюсом резистора.

В схемах сигнализации и позиционного управления применяют позиционные сигнальные устройства (рис. 60, *ж*). Перекидной контакт 1 устройства связан со стрелкой прибора, а контакты 2 и 3 могут быть установлены в любых точках в пределах шкалы прибора. При значении измеряемой величины, соответствующей части шкалы между контактами 2 и 3 , цепь устройства разомкнута. При равенстве измеряемой величины одному из установленных значений на выходе устройства появляется электрический сигнал, который зажигает лампу и включает пусковое устройство насоса, компрессора и т. п.

Рассмотрим измерительную схему автоматического электронного потенциометра (рис. 60, *б*). Мостовая схема, собранная на резисторах $R1$ — $R10$, получает питание от стабилизированного источника ИПС, который подключен к точкам a и c моста. Диагональ a $R4$, соединенная последовательно и встречно с источником измеряемого напряжения, подключена к входу усилителя. При равенстве потенциалов, снимаемых с реохорда $R9$ и резистора $R4$, сигнал на входе усилителя U_x равен нулю. При изменении температуры на входе усилителя появляется напряжение и реверсивный двигатель $M1$ устанавливает движок реохорда в точку, потенциал которой равен по значению и противоположен по знаку измеряемому напряжению. Резисторы $R7$, $R8$ и $R10$ служат для изменения диапазона измерения прибора, резисторы $R11$, $R12$ и конденсаторы $C1$, $C2$ — для фильтрации напряжения помех, а резисторы $R13$, $R14$ и $R15$ — для регулировки схемы.

Резистор $R4$ в потенциометрах, предназначенных для измерения температуры, выполняют из меди, он служит для компенсации изменения

температуры в месте подключения компенсационных проводов. Если потенциометр предназначен для измерения унифицированного сигнала постоянного тока, то резистор R_4 делают из манганина, а вход прибора шунтируют калиброванным сопротивлением 2 Ом. В этом случае, а также при измерении постоянного напряжения резистор R_4 выполняют из манганина.

На рис. 60, в изображена измерительная схема дифтрансформаторного электронного прибора. Если на входе прибора появляется сигнал переменного тока, вызванный перемещением плунжера дифференциального трансформатора от нейтрального положения, то на входе усилителя появляется переменное напряжение. Двигатель M_1 поворачивает лекало и перемещает плунжер дифтрансформатора II в такое положение, при котором напряжение на входе прибора будет скомпенсировано напряжением на зажимах 3 и 4 дифтрансформатора II , имеющим противоположную фазу. Обмотка III служит для корректировки нуля прибора, которую производят переменным резистором R_1 . Диапазон измерения прибора корректируют переменным резистором R_3 . Если прибор поставляют комплектно с измерительным преобразователем, переключку между зажимами 3 и 4 снимают, а зажимы 1 и 2 закорачивают. В этом случае диапазон измерения вторичного прибора корректируют переменным резистором R_6 .

Для контроля исправности прибора предусмотрена кнопка $K_{нп}$. При нажатии кнопки вход измерительной схемы оказывается зашунтированным резисторами $R_2—R_4$ и стрелка прибора устанавливается на контрольную (обычно нулевую) отметку шкалы.

В потенциометры и дифтрансформаторные приборы встраивают дополнительные устройства аналогично мостам.

Кроме рассмотренных дополнительных устройств конструкция компенсационных приборов позволяет устанавливать в них пневматические (ПП), частотные (ПС) и ферродинамические (ПФ) передающие преобразователи. Например, в приборы КСЗ можно встраивать пневматические изодромные регуляторы ПРЗ.27. Значительно расширяются возможности многоточечных приборов при использовании блоков реле типа БР и других устройств.

Сигналы, передающие на вторичные приборы информацию от термопреобразователей сопротивления и термоэлектрических преобразователей, имеют стандартизированные градуировочные характеристики и диапазоны измерения. В качестве вторичных приборов с этими преобразователями широко применяют логометры и милливольтметры.

Логометр представляет собой магнитоэлектрический прибор с неравномерным магнитным полем и двумя рамками A (рис. 61) и B , помещенными в поле магнитов N и S . Рамки, батарея и термопреобразователи сопротивления образуют два контура I и II , по которым протекают токи I_1 и I_2 , причем ток I_2 зависит от сопротивления резистора R_t и, следовательно, от измеряемой температуры. При изменении тока I_2 в рамке B измерительная система повернет стрелку (например, при увеличении — влево, так как рамка B будет выталкиваться взаимодействием поля тока и поля магнита в область меньшей напряженности магнитного поля). Вращающий момент M_2 будет компенсироваться моментом M_1 , создаваемым рамкой A при ее движении в зону большей напряженности. Равновесие момен-

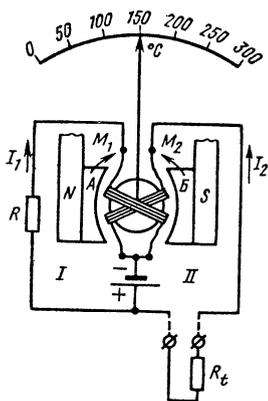


Рис. 61. Принципиальная схема логотметра

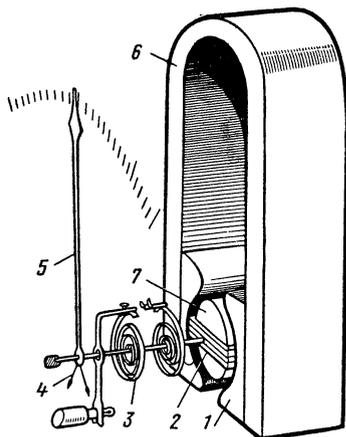


Рис. 62. Милливольтметр:
1 — полюсные наконечники, 2 — рамка,
3 — пружины, 4 — ось, 5 — стрелка, 6 — магнит, 7 — сердечник

тов M_1 и M_2 определяется положением рамок A и B в пространстве. Увеличение тока I_2 соответствует уменьшению R_t , а следовательно, и температуры, и наоборот.

Милливольтметр (рис. 62) состоит из постоянного магнита 6 и полюсных наконечников 1 , создающих в воздушном зазоре равномерное магнитное поле. Вокруг сердечника 7 в воздушном зазоре вращается алюминиевая рамка 2 , на которой намотано несколько витков медного провода. При протекании тока в рамке создается вращающий момент, пропорциональный силе тока, и она поворачивается до тех пор, пока этот момент не будет уравновешен усилием, развиваемым двумя спиральными пружинами 3 .

В момент равновесия стрелка 5 остановится в точке, соответствующей силе тока, протекающего через рамку. Чтобы существовала определенная зависимость между током и температурой, для каждой системы измерений должно быть одно и то же значение сопротивления внешней цепи. Это сопротивление, как и тип градуировочной характеристики термоэлектрического преобразователя, указаны на шкале прибора. На лицевую сторону прибора выведен корректор указателя, позволяющий механически смещать указатель до 50°C . Применение милливольтметров ограничено длиной линий связи, сравнительно невысокой точностью и отсутствием регистрации показаний.

Вторичные приборы в системах пневмоавтоматики имеют одинаковые чувствительные элементы, но отличаются широтой функциональных возможностей. Чувствительный измерительный механизм вторичного показывающего прибора (рис. 63) получает питание от внешней сети давлением $0,14 \text{ МПа}$.

Давление $p_{\text{пит}}$ подается в силовое устройство 10 и в линию сопла 5 . Давление в линии сопла 5 определяется положением заслонки 6 относительно сопла. При изменении (например, увеличении) давления на выходе

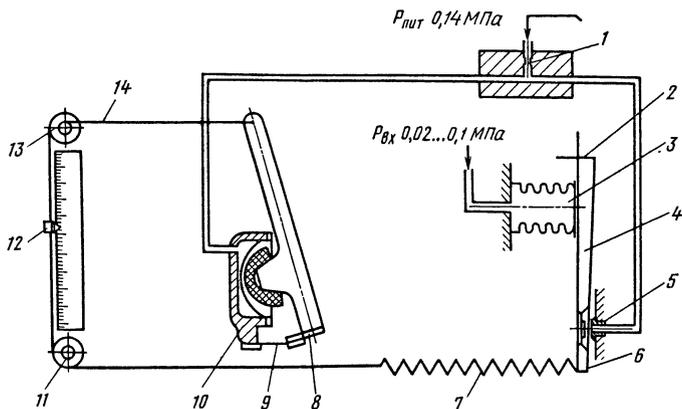


Рис. 63. Измерительный механизм вторичного показывающего прибора системы «Старт»:

1 — дроссель, 2, 9 — подвески, 3 — сильфон измеряемой величины, 4, 8 — рычаги, 5 — сопло, 6 — заслонка, 7 — пружина, 10 — силовое устройство, 11, 13 — ролики, 12 — стрелка, 14 — нить

преобразователя изменится давление в соединенном с ним через пневмотрассу сильфоне 3. Заслонка приблизится к соплу, и давление в линии сопла и в силовом устройстве возрастет. Чашечная мембрана силового устройства выгнется и отведет вправо конец рычага 8. Нить 14 натянется, повернет ролик 13 по часовой стрелке и на барабан ролика 13 будет наматываться нить с закрепленной на ней стрелкой 12. Пружина 7 при этом растянется и будет воздействовать на рычаг 4, отводя заслонку от сопла. Равновесие в приборе наступит в тот момент, когда усилие, развиваемое измерительным сильфоном, уравнивается усилием, развиваемым в противоположном направлении пружиной.

Во вторичных пневматических приборах могут предусматриваться дополнительные устройства для сигнализации, управления и регулирования.

Прибор с устройством для сигнализации значения измеряемой величины дополнительно снабжен двумя реле «сопло-заслонка», которые могут перемещаться в вертикальной плоскости вместе со стрелками 2 (рис. 64) и 3. Если указатель прибора находится между стрелками 2 и 3, то сопла 1 и 4 закрыты заслонками 5 и 6. При этом давление в камерах А реле I и II равно нулю (сопла С2 закрыты, а сопла С1 соединены с атмосферой). Если указатель 7 выходит за пределы, ограниченные сигнальным устройством, то заслонка 6 штифтом указателя 7 отводится от сопла 1 и давление в линии и в камере А реле II резко падает. Под действием пружины мембрана перемещается вниз, закрывая сброс воздуха в атмосферу (сопло С1 закрыто) и открывая сопло С2, через которое давление питания поступает на выход p_{1-1} .

Показывающие приборы могут иметь два измерительных механизма и предназначаться для измерения двух переменных измеряемых величин по двум независимым каналам связи.

В схемах управления и регулирования применяют приборы со стан-

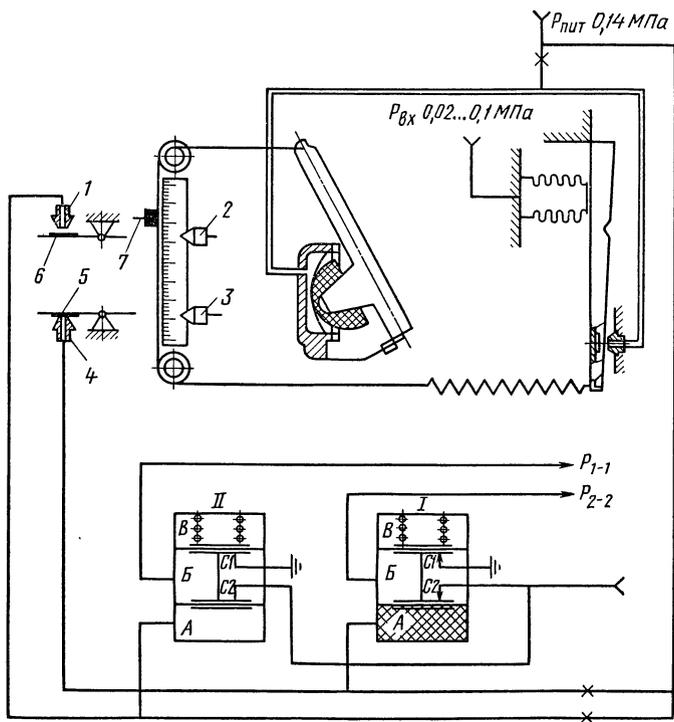


Рис. 64. Вторичный показывающий прибор с сигнальным устройством:
 1, 4 — сопла, 2, 3 — стрелки сигнального устройства, 5, 6 — заслонки, 7 — указатель; I, II — выключающие реле; p_{1-1} , p_{2-2} — выходы

цией управления. Такой прибор предназначен одновременно для показания и регистрации одной величины, показаний второй величины и выработки управляющего пневматического сигнала. Измерение величин производится в диапазоне 0,02—0,1 МПа.

Прибор имеет три измерительных механизма и три шкалы. Колодка VIII (рис. 65, а) штуцеров служит для подключения пневмолиний. К пневматическому разъему IX можно подключить регулятор. При одновременном нажатии кнопок «Откл.» и P давление в камере A реле через открытый клапан VII стравливается в атмосферу. При этом сопло CI откроется и давление воздуха, создаваемое задатчиком IV и усилителем III, поступит на измерительный механизм (шкала «Клапан»), клемму I и штуцер 7, откуда оно может быть использовано для управления (например, регулятором). При нажатии кнопки A кнопка P выключится и сопло CI реле II закроется давлением в камере A. На шкале прибора «Задание» можно наблюдать изменение давления воздуха при вращении рукоятки задатчика IV. При нажатии кнопки «Вкл.» на клемме 3 разъема IX появится давление питания. При нажатии кнопки AP давление воздуха из камеры A реле I стравливается в атмосферу и через сопло CI давление из внешних трасс, подключенных к штуцеру 6 колодки VIII, подается на шкалу «Задание» для измерения и на клемму 5 разъема IX. Задатчик IV в этом положении отключен полностью от измерительной схемы и внешних линий.

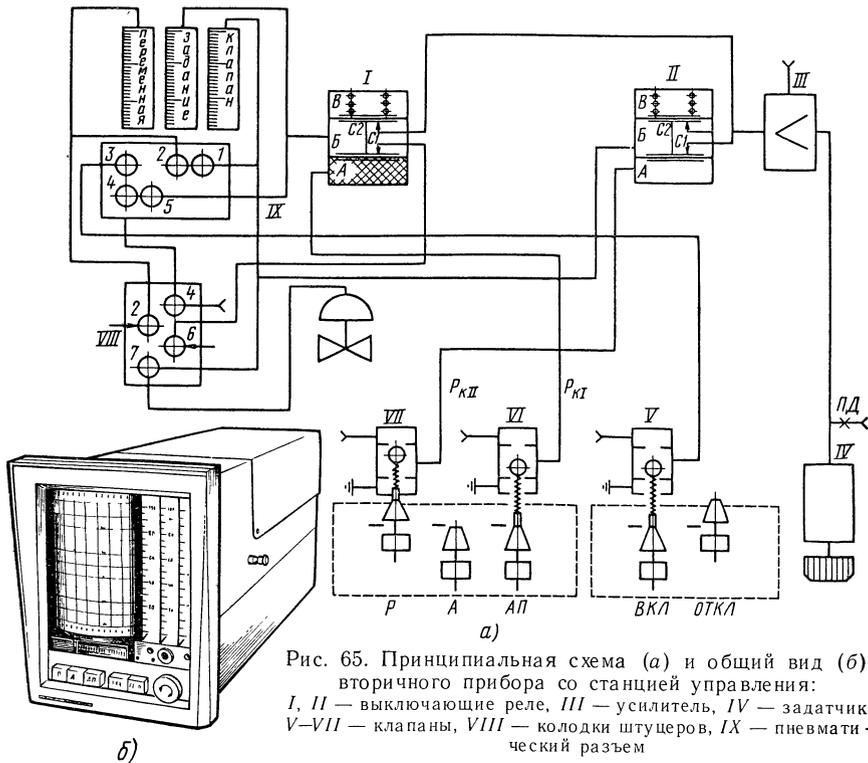


Рис. 65. Принципиальная схема (а) и общий вид (б) вторичного прибора со станцией управления: I, II — выключающие реле, III — усилитель, IV — датчик, V-VII — клапаны, VIII — колодки штуцеров, IX — пневматический разъем

Для регистрации измеряемой величины прибор имеет лентопротяжный механизм, который приводится в действие электродвигателем или пневмомотором. Пневмолинии выполняют медными, стальными или пластмассовыми трубами с внутренним диаметром 6 мм и длиной до 300 м.

Глава IX ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ РЕГУЛИРУЮЩИЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

§ 25. Элементы электрических устройств

В регулирующих и управляющих устройствах используют резисторы, конденсаторы, полупроводниковые приборы (диоды, триоды), а также созданные на их базе усилители и простейшие логические элементы.

Резисторы. Резистор — структурный элемент электрической цепи, основное назначение которого — оказывать известное сопротивление электрическому току с целью регулирования тока и напряжения. Промышленность выпускает резисторы с номинальными сопротивлениями электрическому току, изменяющимися до 10 МОм. Резисторы изготовляют из металлической проволоки или металлокерамики.

Резисторы бывают с постоянным и переменным сопротивлениями. Переменные резисторы имеют контактное устройство, скользящее по про-

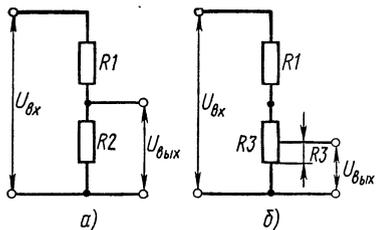


Рис. 66. Делитель напряжения с постоянным (а) и регулируемым (б) выходным напряжением

водящей поверхности. При перемещении этого устройства из одного крайнего положения в другое электрическое сопротивление цепи изменяется от нуля до максимального значения.

Резисторы широко применяют в автоматических устройствах при создании безынерционных звеньев. В качестве примера рассмотрим делитель напряжения на постоянных резисторах (рис. 66, а). Выходное напряжение такого устройства на основании закона Ома $U_{вых} = U_{вх} R_2 / (R_1 + R_2)$. Если вместо постоянного резистора R_2 использовать переменный R_3 (рис. 66, б), то $U_{вых} = U_{вх} \cdot \Delta R_3 / (R_1 + R_3)$, т. е. будет зависеть от положения подвижного контакта переменного резистора R_3 . Такая схема позволяет получить на выходе напряжение, равное произведению входного сигнала на постоянный коэффициент, зависящий от положения подвижного контакта переменного резистора, но всегда меньше 1.

Конденсаторы. Конденсатор — устройство из двух и более электродов (обкладок), разделенных диэлектриком, толщина которого мала по сравнению с размером обкладок. Основной характеристикой конденсатора является электрическая емкость — отношение заряда на одной из обкладок к разности потенциалов между ними.

Рассмотрим поведение динамического звена (рис. 67, а) с конденсатором на выходе при включении источника постоянного напряжения $U_{вх}$. В момент включения выключателя Q через резистор R будет протекать максимальный ток и конденсатор начнет заряжаться, т. е. его потенциал $U_{вых}$ будет возрастать, а разность потенциалов между $U_{вх}$ и $U_{вых}$, ток через резистор R и приток энергии к конденсатору будут уменьшаться. Темпы роста $U_{вых}$ по мере увеличения заряда будут снижаться. В математике такую зависимость между $U_{вх}$ и $U_{вых}$ называют *экспоненциальной*, а график *экспонентой*. Скорость заряда конденсатора (изменение $U_{вых}$) будет зависеть от сопротивления резистора R и емкости конденсатора C .

При включении C на вход звена (рис. 67, б) в начальный момент через цепь будет проходить максимальный ток и выходное напряжение будет максимальным. С течением времени $U_{вых}$ уменьшается со скоростью, зависящей от значений R и C .

Полупроводниковые диоды применяют в схемах в качестве выпрямителей, а также для защиты узлов и блоков от возможного попадания напря-

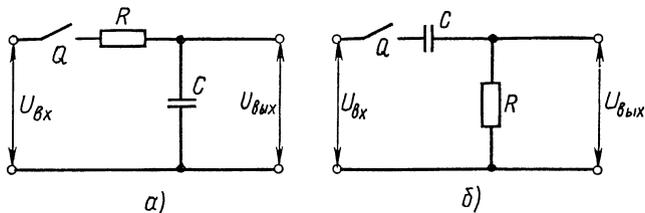


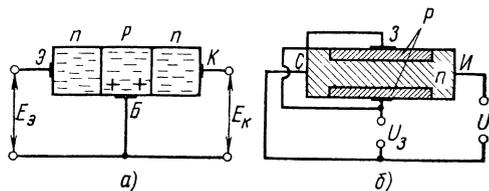
Рис. 67. Динамическое звено с емкостью на выходе (а) и на входе (б)

жения нежелательной полярности. Принцип действия диодов основан на свойстве изменять свое сопротивление в зависимости от направления протекающего через них тока: при протекании тока в прямом направлении диоды ведут себя как проводники, в обратном — как изоляторы. Если включить диод в цепь переменного тока, то ток в цепи будет появляться только во время положительного значения напряжения. Такой выпрямитель обеспечит однополупериодное выпрямление переменного тока. Собранные в мостовую схему диоды обеспечивают двухполупериодное выпрямление.

Полупроводниковые диоды — **стабилитроны** — ведут себя как изоляторы или проводники в зависимости от значения подаваемого на их вход напряжения. При напряжениях ниже стабилизирующего такой диод имеет высокое электрическое сопротивление. При напряжении, близком к стабилизирующему, диод способен в широких пределах изменять свое сопротивление и соответственно протекающий через него ток.

Полупроводниковые триоды (транзисторы) применяют в устройствах в качестве усилителей мощности или переключающих устройств (ключей). В автоматических устройствах применяют биполярные и полевые транзисторы. Биполярный транзистор имеет два перехода, которые обеспечиваются тремя слоями полупроводникового материала (рис. 68, а). Наружный слой, являющийся источником электронов, называют эмиттером, слой, принимающий электроны, — коллектором, а центральный управляю-

Рис. 68. Принцип работы биполярного (а) и полевого (б) транзисторов



щий слой — базой. Между базой и коллектором приложен источник коллекторного напряжения E_k так, что сопротивление $p-n$ -перехода между базой и коллектором, аналогичное включению диода в обратном направлении, велико. При подключении эмиттера к источнику отрицательного напряжения $n-p$ -переход между базой и эмиттером оказывается включенным в прямом направлении и через него электроны устремляются к коллектору, поскольку $E_k > E_э$, и по коллекторной цепи начинает протекать ток.

Таким образом происходит управление током в коллекторной цепи за счет изменения силы тока в цепи эмиттер — база. Недостаток таких транзисторов — наличие тока в цепи базы, т. е. недостаточно высокое входное сопротивление транзистора.

Полевые транзисторы применяют в устройствах, где требуется высокое входное сопротивление. Полевой транзистор (рис. 68, б) имеет три электрода. Электрод, из которого электроны входят в канал, называется стоком, электрод, через который электроны выходят во внешнюю цепь, — истоком. Проводимость канала в таком транзисторе управляется электрическим полем (потенциалом) третьего электрода, называемого затвором. В таких транзисторах токи затвора составляют 10^{-10} А и по входному сопротивле-

нию они близки к электронным лампам. Транзисторы различных типов входят в схемы электронных усилителей.

Усилители. Усилитель постоянного тока с биполярным транзистором VT (рис. 69). При создании усилителя сопротивления резисторов делителя выбирают такими, чтобы при отсутствии $U_{вх}$ (потенциал базы равен нулю) $U_{вых}$ также было равно нулю. При появлении $U_{вх}$ (например, $U_{вх} > 0$) потенциал базы увеличивается и в цепи коллектора появляется ток. Вследствие падения напряжения на резисторе $R1$ потенциал коллектора снижается и на выходе усилителя появляется отрицательное напряжение. Коэффициент усиления такого усилителя зависит от соотношения сопротивлений резисторов $R1, R2$ и $R3, R4$ и, как правило,

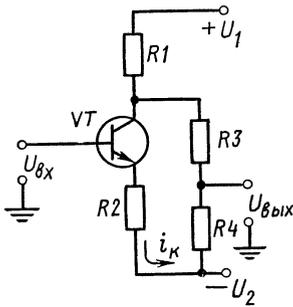


Рис. 69. Транзисторный усилитель постоянного тока

не бывает более 15. При необходимости иметь большее усиление к выходу усилителя подключают последовательно вход второго такого же усилителя и т. д. Полученный таким образом усилитель называют многокаскадным, и его коэффициент усиления равен произведению коэффициентов усиления отдельных каскадов.

Многокаскадные транзисторные усилители, изготавливаемые, как правило, в микроминиатюрном исполнении, применяют для создания устройств с различными законами регулирования и называют операционными усилителями (ОУ). Микросхема ОУ состоит из кристалла полупроводника, отдельные области которого выполняют функции транзисторов, диодов, резисторов, конденсаторов. Необходимые свойства отдельным участкам кристалла придают травлением, окислением, напылением различных примесей. Готовую микросхему помещают в металлический или пластмассовый корпус с выводами для подключения внешних цепей. Точки микросхемы с выводами соединяют золотыми или алюминиевыми проводниками диаметром до 10 мкм. Отечественная технология позволяет разместить в 1 см^3 кристалла до 500 элементов.

При рассмотрении схем с использованием ОУ предполагают, что коэффициент усиления ОУ и входное сопротивление ОУ бесконечно велики, а разность потенциалов между входами усилителя, охваченного обратной связью, равна нулю.

Рассмотрим основную *инвертирующую* (обращающую) *схему включения ОУ* (рис. 70, а). При подключении $U_{вх1}$ к инвертирующему входу I через резистор $R1$ потечет ток i , который создаст на инвертирующем входе потенциал $iR1$. Разность потенциалов между входами будет равна нулю только при $iR1 = -iR_{о.с.}$. Выходное напряжение такой схемы $U_{вых} = -(R_{о.с.}/R1) \cdot U_{вх1}$, а коэффициент усиления $k = -R_{о.с.}/R1$. Устанавливая вместо постоянного резистора $R_{о.с.}$ переменный, можно получить схему усилителя с изменяющимся коэффициентом усиления.

Если к инвертирующему входу подключить несколько источников

напряжения (пунктир на рис. 70, а), то по закону Кирхгофа $i_1 + i_2 + i_3 = -i_{0c}$ и выходное напряжение ОУ $U_{\text{вых}} = -i_{0c}R_{0c} = -[U_{\text{вх1}}(R_{0c}/R_1) + U_{\text{вх2}}(R_{0c}/R_2) + U_{\text{вх3}}(R_{0c}/R_3)]$. При равенстве $R_1 = R_2 = R_3 = R_{0c}$ $U_{\text{вых}} = U_{\text{вх1}} + U_{\text{вх2}} + U_{\text{вх3}}$, т. е. ОУ осуществляет суммирование трех сигналов.

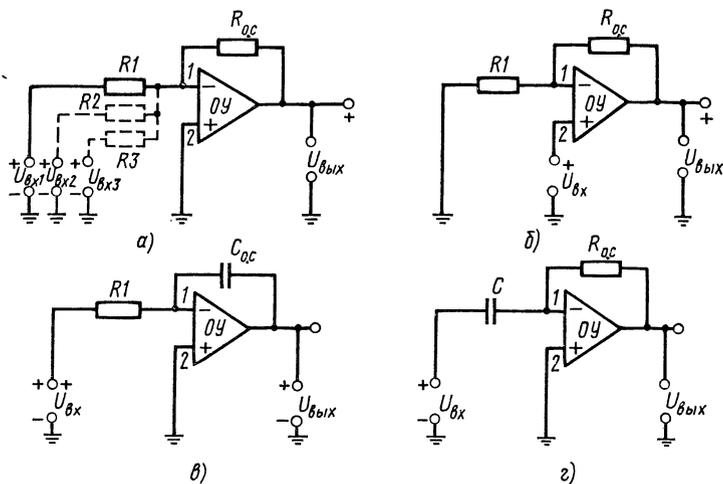


Рис. 70. Схемы включения инвертирующего (а), неинвертирующего (б), интегрирующего (в) и дифференцирующего (г) операционных усилителей

Рассмотрим *неинвертирующую схему ОУ* (рис. 70, б). Согласно свойству $U_{\text{вх}} - U_{0c} = 0$, $U_{\text{вх}} = U_{0c}$. В свою очередь $U_{0c} = iR_{0c} = U_{\text{вых}}R_1 / (R_{0c} + R_1)$, отсюда $U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}}(R_{0c} + R_1) / R_1$. Из приведенного соотношения видно, что коэффициент такого усилителя не может быть менее 1.

Схема интегрирующего ОУ (рис. 70, в) имеет в цепи обратной связи конденсатор C_{0c} . При включении источника входного сигнала конденсатор начнет заряжаться. Чтобы разность потенциалов между входами была равна нулю, выходное напряжение ОУ в любой момент должно быть равно напряжению, до которого зарядился конденсатор C_{0c} . Поскольку ток заряда $i = U_{\text{вх}}/R_1$ не изменяется, заряд конденсатора будет происходить с постоянной скоростью и график $U_{\text{вых}}$ будет представлять собой прямую линию, проходящую под углом к оси времени. Скорость изменения $U_{\text{вых}}$ зависит от сопротивления резистора R_1 и емкости конденсатора C_{0c} .

Если в предыдущей схеме поменять местами резистор и конденсатор, то получится *схема дифференцирующего ОУ* (рис. 70, г). При включении $U_{\text{вх}}$ через C и R_{0c} в начальный момент потечет максимальный ток, который со временем будет уменьшаться. Соответствующее этому току падение напряжения на R_{0c} должно быть скомпенсировано таким изменением $U_{\text{вых}}$, которое в дальнейшем по мере заряда C будет уменьшаться. Если на вход рассматриваемой схемы подавать $U_{\text{вх}}$, изменяющееся во времени, то $U_{\text{вых}}$ будет как бы предвещать изменение входного сигнала и значение этого предвещения будет зависеть как от скорости изменения $U_{\text{вх}}$, так и от емкости конденсатора C и сопротивления резистора R_{0c} .

Рассмотренные варианты применения ОУ подтверждают выводы, сделанные в § 12, что при охвате безынерционных звеньев обратными связями свойства этих звеньев тем точнее определяются свойствами обратных связей, чем выше их коэффициент усиления.

Рассмотренный материал относится к системам и устройствам, обеспечивающим получение, обработку и формирование управляющих воздействий для измерения и поддержания на заданном уровне непрерывно изменяющихся физических величин, определяющих протекание заданного технологического режима. Однако этими системами не могут быть решены все задачи автоматизации.

Простейшие логические элементы. Как правило, для безаварийной и безопасной работы цехов, агрегатов должен быть соблюден ряд условий, гарантирующих сохранность оборудования, здоровье обслуживающего персонала, охрану окружающей среды. Вернемся к примеру задачи системы управления котельной установкой (§ 5). Чтобы установка начала работать, ее необходимо разжечь, для чего выполняют ряд операций в определенной последовательности. Сначала топку вентилируют в течение времени, необходимого для полной смены воздуха в топочном пространстве. При попытке разжечь котел с непровентилированной топкой высока вероятность того, что скопившаяся в ней газовоздушная смесь будет иметь взрывоопасную концентрацию и в момент розжига произойдет взрыв. Поэтому только после вентиляции в топку вставляют запальник, подают на него напряжение, а затем, убедившись, что давление газа нормальное, подают газ на горелку. При этом постоянно контролируют давление газа и воздуха на горелки, разрежение в топке и уровень воды в барабане котла.

При падении давления газа на горелки факел погаснет, если же давление снова возрастет, то топочное пространство заполнится газом и может произойти взрыв. Такая же ситуация создается при падении давления воздуха на горелки. При падении разрежения в топке топочные газы выбрасываются в помещение котельной, а при понижении уровня воды в барабане котел может выйти из строя.

Во избежание аварии при обнаруженных нарушениях прекращают подачу топлива и останавливают котел.

Таким образом, условия розжига котла и его безаварийной работы определяются совокупностью событий. Под событиями понимают факты, которые могут *произойти* (окончание вентиляции топки) или *не произойти* (аварийное отключение питательной воды).

Для управления установкой оператор должен иметь информацию о том, какие события произошли. Такую информацию он может получить, например, с помощью набора сигнальных ламп, каждая из которых зажигается при совершении определенного события. В этом случае информационный сигнал о событиях будет иметь два значения: $U_{вх} = 0$ и при совершении события $U_{вх} = 220$ В. Таким образом, при зажигании ламп «Топка провентилирована», «Запальник включен», «Давление газа нормальное» оператор откроет регулирующее устройство и подаст газ в топку. Загорание любой из ламп «Давление воды низкое», «Давление газа низкое» и т. п. при работе котла сигнализирует оператору о необходимости прекратить подачу топлива.

Анализируют совокупность событий и вырабатывают управляющие сигналы специальные системы управления, называемые логическим Информационные сигналы в этих системах имеют два уровня: высокий, соответствующий совершившемуся событию, — логическая 1 — и низкий для не совершившихся событий — логический 0. В рассмотренном примере логической 1 соответствует $U_{\text{вх}} = 220 \text{ В}$, а логическому 0 — отсутствие напряжения на лампе.

Для логических систем управления используют логические элементы, входными и выходными сигналами которых являются логические единицы и нули. Доказано, что системы управления любой сложности могут быть построены комбинациями всего трех типов элементов: НЕ, ИЛИ, И

1. Элементы типа НЕ называются инверторами. Логическая 1 на его выходе соответствует отсутствию входного сигнала (0). При появлении 1 на входе выходной сигнал становится равным 0.

2. Элементы типа ИЛИ могут иметь два и более входов. При нулевых сигналах на всех входах на выходе элемента также нулевой сигнал. При появлении 1 хотя бы на одном из входов выход элемента становится также равным 1.

3. Элементы типа И с двумя и более входами имеют единичный выходной сигнал только при наличии логической единицы на всех без исключения входах.

Для создания электрических управляющих логических систем применяют электромеханические (реле) или электронные элементы.

Реле (рис. 71) состоит из контактной группы 1 (подвижных и неподвижных контактных пластин), катушки 4, толкателя 2 и якоря 3. При отсутствии напряжения на катушке (логический 0) верхняя и нижняя пары контактов разомкнуты, а средняя замкнута. При подаче на катушку напряжения якорь притянется к сердечнику, толкатель соединит крайние контактные пары и разомкнет среднюю.

Для создания элемента НЕ источник выходного напряжения подключают к замкнутым в обесточенном состоянии контактным пластинам, по которым ток потечет во внешнюю цепь и создаст выходное напряжение. При включенном реле контакты разомкнуты и $U_{\text{вых}} = 0$

Электронный вариант инвертора можно получить с помощью транзистора (см. рис. 69). При отсутствии входного сигнала ток в цепи коллектора транзистора VT отсутствует и $U_{\text{вых}}$ практически равно $+U_1$, при подаче на вход напряжения ток резко возрастает и на выходе элемента напряжение снижается на $i_k R_1$.

В элементе ИЛИ с применением реле (рис. 72, а) питающее напряжение U_n под-

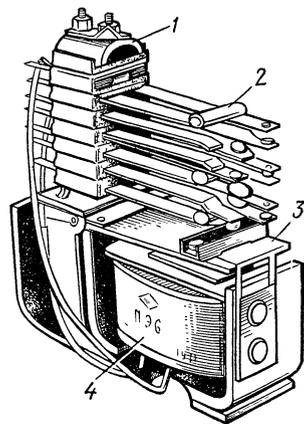


Рис. 71. Электромеханическое реле:
1 — контактная группа, 2 — толкатель, 3 — якорь, 4 — катушка

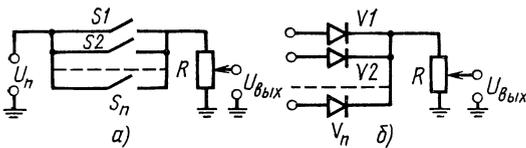


Рис. 72. Электромеханический (а) и электронный (б) элементы типа ИЛИ

ключено к разомкнутым контактам S_1, S_2, \dots, S_n электромеханических реле (на рисунке не показаны). При подаче единичного сигнала на катушку хотя бы одного из реле контакт этого реле замкнется и на выходе элемента появится $U_{\text{вых}} = 1$.

Электронный вариант элемента ИЛИ (рис. 72, б) состоит из параллельно включенных диодов V_1, V_2, \dots, V_n . При появлении единичного входного сигнала на любом из входов через резистор R потечет ток и появится напряжение $U_{\text{вых}} = 1$. Релейный вариант элемента И (рис. 73, а) содержит последовательно включенные разомкнутые контакты S_1, S_2, \dots, S_n электромагнитных реле. Цепь для протекания тока и появления $U_{\text{вых}} = 1$ образуется только при срабатывании всех реле, т. е. при наличии единичного сигнала на всех входах элементов.

В электронном элементе И (рис. 73, б) при нулевых сигналах на входах через R и диоды протекает ток. Падение напряжения U_R велико, и напряжение $U_{\text{вых}} \approx 0$. $U_{\text{вых}}$ возрастает лишь в том случае, когда на все входы элемента будет подано положительное напряжение. Тогда протекание тока через резистор R прекратится и на выходе появится $U_{\text{вых}} = U_n$.

Необходимо учитывать, что понятия «единичный сигнал» и «нулевой сигнал» — относительные. Так, в релейных элементах единичный сигнал определяется напряжением срабатывания реле и его значение может составлять 220; 127 В и т. п. Значение и полярность единичного и нулевого сигналов в транзисторном инверторе определяются типом транзистора, сопротивлением резисторов и т. д.

Исходя из изложенного, система автоматического розжига котла должна содержать устройства получения логической информации (контакты пускателя вентилятора, контакты сигнального устройства прибора, измеряющего давление газа, и т. д.), элемент И и исполнительное устройство (например, электромагнитный клапан на линии подачи газа). Система защиты установки в качестве устройства получения логической информации может использовать сигнальные устройства вторичных приборов для измерения расхода воды, уровня в барабане котла, давления газа и воздуха, разрежения в топке. Эти устройства подключают к элементу ИЛИ, выход которого через последовательно включенный элемент

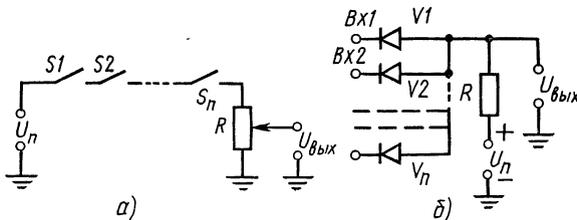


Рис. 73. Электромеханический (а) и электронный (б) элементы типа И

НЕ управляет клапаном отсечки газа. Элемент НЕ необходим, так как в нормальном состоянии (ни одно аварийное событие не произошло) отсечной клапан должен быть открыт, т. е. при нулевом значении сигнала на выходе элемента ИЛИ на выходе элемента НЕ будет единичное напряжение, открывающее клапан.

§ 26. Регулирующие блоки Р25

Регулирующие блоки Р25 применяют для управления технологическими процессами при автоматизации котельных установок, насосных и компрессорных станций, производств черной и цветной металлургии и других.

Входными величинами блоков могут быть сигналы от дифференциально-трансформаторных датчиков, термометров сопротивления, термоэлектрических и реостатных преобразователей, а также унифицированные сигналы постоянного тока и напряжения.

В качестве исполнительных устройств в комплекте с регуляторами применяют исполнительные механизмы с магнитными усилителями или с реверсивными магнитными пускателями, имеющими напряжение на управляющих катушках 24 В. Блоки могут непосредственно управлять электродвигателями (мощностью до 80 ВА) различных установок.

Модификации блока Р25 различаются числом и типом датчиков, которые могут быть подключены к входу, а также видом электрических входных сигналов. Блоки типа Р25.1.1 могут работать с тремя (не более) дифференциально-трансформаторными датчиками или с одним датчиком унифицированного сигнала 0—5; 0—20 мА или 0—10 В постоянного тока; блоки Р25.2.1 — с двумя или одним термопреобразователем сопротивления или с одним источником любого электрического унифицированного сигнала; Р25.3.1 — с термоэлектропреобразователем и источником электрического унифицированного сигнала.

В модификации блоков, имеющих последнюю цифру 2, дополнительно встроены индикатор отклонения входного сигнала от заданного значения.

Конструктивно блок Р25 выполнен в стандартном металлическом корпусе, содержащем два самостоятельных функциональных узла (субблока): измерительный Р-012 (Р-013 для подключения термоэлектропреобразователей) и электронный Р-011. Стабилизированный источник питания регулятора позволяет получать с высокой точностью напряжения ± 15 В; ± 8 В и ± 9 В для измерительного и электронного субблоков.

Упрощенная принципиальная электрическая схема субблока Р-012 (рис. 74) содержит суммирующую часть и нормирующий операционный усилитель (стабилизированный источник питания, цепи подключения датчиков положения, индикаторов рассогласования, напряжения задания и положения исполнительного устройства на рисунке не показаны).

Термопреобразователи сопротивления ТС1 и ТС2 получают питание от делителей напряжения $R1$, $R2$ и $R3$, $R4$. Термопреобразователи вместе с резисторами $R3$, $R6$, $R14$ и $R15$ образуют электрическую мостовую схему с диагональю «зажим 9 субблока и общая точка ОТ». Второй мост с диагональю «зажим 15 субблока и ОТ» образуют корректор R_k , задатчик R_z и резисторы $R8—R12$. Нормирующий ОУ имеет такое соотношение

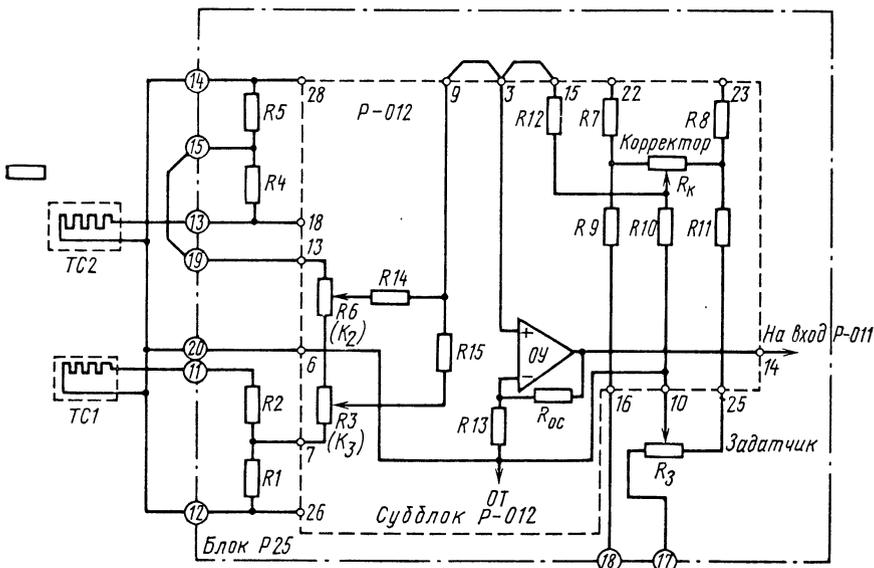


Рис. 74. Упрощенная принципиальная схема субблока P-012

$R_{ос} : R_{13}$, при котором изменению сигнала на входе от 0 до максимального значения соответствует выходное напряжение на зажиме 14 P-012 от 0 до ± 10 В.

Задатчик R_3 позволяет изменять напряжение в диагонали моста на $\pm 20\%$ от максимальной. Для установки задания в любой точке диапазона измерения служит корректор R_k . Напряжение, поступающее в измерительный мост с TC1 и TC2, может быть использовано полностью или частично с помощью переменных резисторов R_3 и R_6 , осуществляющих умножение входных сигналов на коэффициенты соответственно k_2 и k_3 , изменяющиеся от 0 до 1.

Напряжение на выходе ОУ будет равно нулю, если алгебраическая сумма $U_{TC1}k_2 + U_{TC2}k_3 + U_3 + U_k = 0$, где U_{TC1} , U_{TC2} — сигналы термопреобразователей; U_3 и U_k — сигналы соответственно задатчика и корректора. Если равновесие измерительного блока нарушится из-за изменения температуры в местах установки TC1 или TC2, то между зажимами 9 и 15 субблока возникнет напряжение определенной полярности и на выходе P-012 (зажим 14) появится напряжение 0— ± 10 В, которое называют напряжением отклонения или рассогласования.

Напряжение отклонения поступает на зажим 23 субблока P-011 (рис. 75) и через демпфер $R_{дф}$, $C_{дф}$ на вход ОУ1. Демпфер предназначен для сглаживания сигналов, изменяющихся с большой скоростью, и для фильтрации высокочастотных помех. Постоянную времени демпфера можно изменять от 0 до 10 с резистором $R_{дф}$.

При этом на выходе ОУ1 появится напряжение, соответствующее знаку входного напряжения, и включит один из усилителей трехпозиционного электронного реле, собранного на ОУ2 и ОУ3. Одновременно с напряжением отклонения на входы ОУ2 и ОУ3 с движка переменного резистора R_3

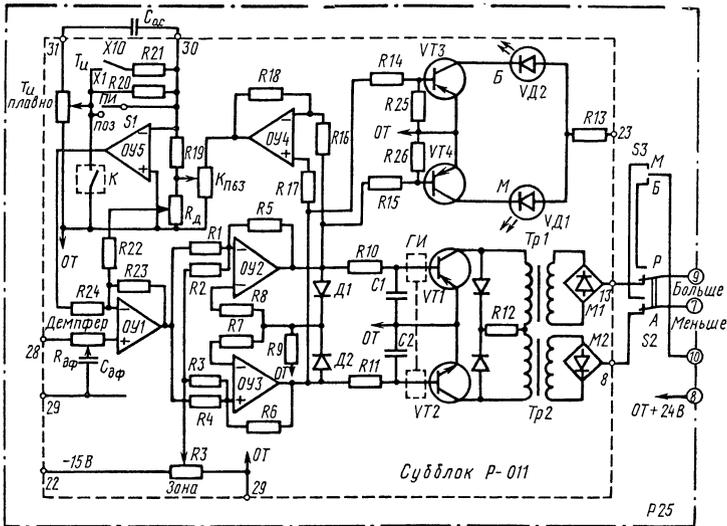


Рис. 75. Упрощенная принципиальная схема субблока Р-011

«Зона» подается постоянное напряжение смещения. При напряжении отклонения, меньшем, чем напряжение смещения, операционные усилители остаются в нейтральном положении. При появлении $U_{\text{вых}}$ на одном из усилителей электронного реле срабатывает фазочувствительный генератор импульсов (на схеме не показан) и на выходе одного из транзисторов $VT1$ или $VT2$ появляются усиленные по мощности последовательные импульсы, которые после трансформатора преобразуются одним из мостов ($M1$ или $M2$) в постоянное напряжение, поступающее в зависимости от полярности напряжения отклонения на зажим 9 или 7 блока Р25.

Одновременно выходное напряжение трехпозиционного реле через резистор $R16$ или $R17$ поступает на вход $OУ4$ и далее на узел формирования сигнала обратной связи, созданный на базе $OУ5$. Входное напряжение $OУ5$ будет определено положением подвижного контакта резистора $K_{П63}$. В момент срабатывания трехпозиционного реле транзисторный ключ K (на рисунке принципиальная схема ключа не приведена) отключает резисторы $R20$ и $R21$ от общей точки OT , и тогда $OУ5$ превращается в интегратор с конденсатором обратной связи $C_{ос}$. При этом $U_{\text{вых}}$ $OУ2$ будет изменяться с постоянной скоростью до тех пор, пока $U_{ос}$ не станет равным $U_{откл}$, $OУ1$ не окажется в равновесии и напряжение на конденсаторе $C_{ос}$ не будет равно выходному напряжению $OУ5$ (см. § 25).

При $U_{откл} = U_{ос}$ электронное реле установится в нейтральное положение и его $U_{\text{вых}}$ будет равно нулю. При этом транзисторный ключ K соединит с OT резисторы $R21$, $R20$ и подвижный контакт резистора « $T_{н}$ плавно», конденсатор $C_{ос}$ начнет разряжаться и выходное напряжение $OУ5$ будет изменяться по экспоненте. Когда разность $U_{ос}$ и $U_{откл}$ будет больше зоны нечувствительности реле, на его выходе снова появится управляющий сигнал, который начнет перемещать исполнительное устройство до тех пор, пока $U_{ос}$ снова не станет равным $U_{откл}$, после чего цикл повторится.

При необходимости регулирующий блок может обеспечить работу АСР с позиционным законом. Для этого предназначен переключатель $S1$, который шунтирует C_{oc} и резисторы $R20$, $R21$.

С помощью переключателя $S2$ обеспечивается третий режим работы блока — ручной. В этом режиме выходные зажимы 10 , 9 и 7 отключают переключением $S2$ от P-011. Затем от ручного задатчика с помощью переключателя $S3$ подают напряжение на зажимы 10 и 7 или 10 и 9 . При этом будут загораться соответственно светодиоды $VD1$ («Меньше») или $VD2$ («Больше»).

Органы настройки блока и гнезда, предназначенные для измерения напряжений в характерных точках, выведены на лицевую панель (рис. 76). Слева на панели помещены органы управления субблока P-012: ручки резисторов масштабирования 1 , корректора 2 и подстройки шкалы указателя положения 4 , а также профильный индикатор отклонения 3 .

Справа на панели управления субблока P-011 расположены ручки подстроечных резисторов 5 для изменения зоны нечувствительности, длительности импульса и коэффициента усиления $k_{пбз}$. Светоиндикаторы указывают направление перемещения ИМ. Переключателем 7 изменяют закон регулирования блока, а переключателем 8 — постоянную времени интегрирования $T_{и}$. Время демпфирования устанавливают ручкой 9 . В гнездах ϵ , OC и OT можно измерить $U_{откл}$ и U_{oc} .

В нижней части панели расположены переключатели режимов работы 10 («ручной — автомат») и направления движения ИМ 11 , индикатор 12 задания и ручка 13 задатчика. Значения $k_{пбз}$, $T_{и}$, «Импульс», нанесенные на соответствующие шкалы, рассчитаны из условия, что время перемещения исполнительного устройства из одного крайнего положения в другое 63 с.

§ 27. Функциональные и регулирующие блоки АКЭСР

Блоки агрегатного комплекса АКЭСР применяют в системах, где в качестве информационных сигналов используется постоянный ток, изменяющийся в диапазоне $0—5$ или $0—20$ мА, или напряжение постоянного тока $0—10$ В.

Функциональные блоки выполняют алгебраические операции над сигналами (умножение, сложение и т. п.), а также динамические преобразования (демпфирование, интегрирование, дифференцирование). Регулирующие блоки позволяют реализовывать любой стандартный закон регулирования.

Блоки выпускают в приборном и шкафом исполнениях. Блоки приборного исполнения заключены в индивидуальный металлический корпус, монтируют их на вертикальных панелях щитов, утапливая корпус в щит. Такие блоки используют при создании простых систем.

Блоки шкафного исполнения применяют при создании сложных систем управления высокоавтоматизированными процессами. Блоки шкафного исполнения выполнены на типовом унифицированном шасси, снабжены разъемом для подключения внешних проводок и легко вдвигаются на определенное место в шкаф унифицированной типовой конструкции.

Как приборные, так и шкафные блоки включают в себя ограниченное число модулей, собранных на стандартных платах размером 40x120 мм. Отдельные модульные платы с общей печатной схемой блока соединяют с помощью разъемного соединения, которое замыкается при установке платы на свое место. Шкафные блоки отличаются от приборных только отсутствием индивидуального источника питания, поскольку в шкафах монтируют групповые источники питания типа БПГ.

Функциональные блоки. Функциональные блоки классифицируют по назначению.

Блок БКР (кондуктивного разделения) предназначен для разделения цепей измерительных систем и устройств АСР.

Для сложных преобразований сигналов применяют блоки нелинейных преобразований БНП, которые позволяют при изменении входного сигнала в стандартном диапазоне получать $U_{\text{вых}}$, изменяющееся в этом же диапазоне по любому заранее заданному закону (например, $U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}}^3$).

Арифметические операции над сигналами выполняет блок вычислительных операций БВО, который производит перемножение значений двух входных сигналов, их деление, а также возведение значения входного сигнала в квадрат и извлечение из него квадратного корня.

Блок динамических преобразований БДП с высокой точностью осуществляет интегрирование или дифференцирование.

Блоки БСЛ выбирают из нескольких сигналов больший или меньший, а БСГ сигнализируют о достижении измеряемыми физическими величинами предельных значений. Для обозначения исполнения блока к его наименованию добавляют буквы П (приборный) или Ш (шкафной). Например, БНП-Ш — блок нелинейных преобразований шкафной.

Как правило, функциональные блоки помимо основной операции выполняют и дополнительные — демпфирование, суммирование с масштабированием и т. п.

Вид входных сигналов, значения постоянных коэффициентов, выполняемые операции задаются с помощью переключателей, устанавливаемых на стандартных девятиштырьковых панелях. Панели расположены на боковой стенке приборных или сверху шкафных блоков.

Рассмотрим принцип действия и устройство функциональных блоков БКР1-Ш и БНП-Ш.

Блок кондуктивного разделения БКР1-Ш (рис. 77) имеет три самостоятельных канала преобразования информации.

Первый, основной, канал обеспечивает отделение сигнала на входе x_{11} от сигнала y_{11} .

Второй канал используют для суммирования значений входных сигналов x_{21} , x_{22} , x_{23} . В нем осуществляют сложение значений трех сигналов с умножением их на коэффициенты, изменяющиеся от 0 до 1, т. е. выполняют операцию:

$$y_{21} = \beta_2(x_{21} \cdot \alpha_{21} \mp \alpha_{22} \cdot x_{22} \mp x_{23}),$$

где y_{21} — $U_{\text{вых}}$ на зажиме 9 блока; x_{21} , x_{22} , x_{23} — значения входных сигналов; α_{21} и α_{22} — плавно изменяющиеся от 0 до 1 множители; β_2 — множитель, принимающий значения 0,5; 1,0; 5,0.

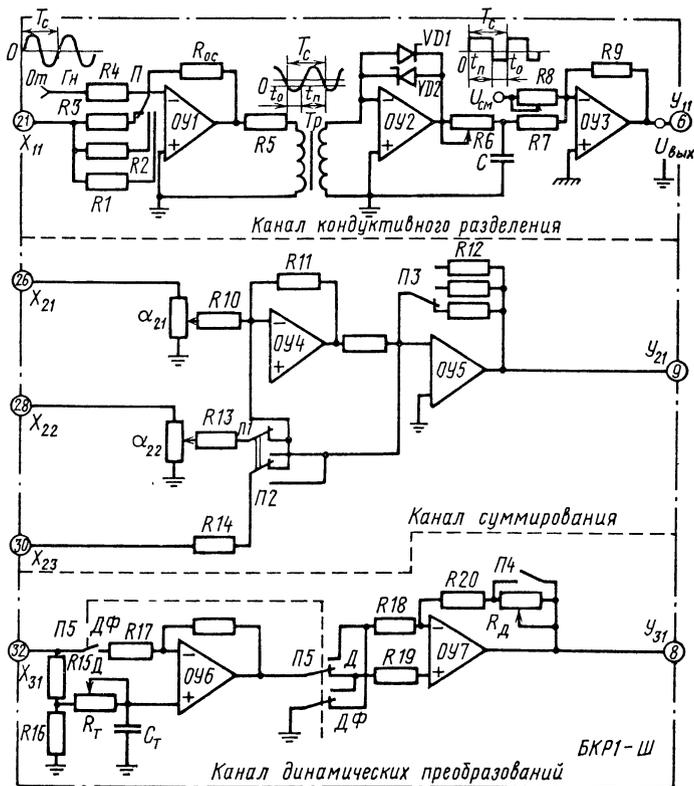


Рис. 77. Упрощенная принципиальная схема блока БКР1-Ш

Третий канал динамических преобразований осуществляет в зависимости от положения переключателя $\Pi5$ либо дифференцирование, либо демпфирование сигнала x_{31} .

Канал кондуктивного разделения. Входной сигнал x_{11} от измерительного преобразователя подключают к зажиму 21 блока и через постоянные резисторы $R1 - R3$ и переключатель Π к инверсионному входу ОУ. На этот же вход от генератора через резистор $R4$ (генератор на рисунке не показан) подключают переменное напряжение с частотой 50 Гц. При отсутствии входного сигнала на выходе ОУ1 будет переменное напряжение той же частоты. Через разделительный трансформатор T_p с коэффициентом $k_{тр}=1$ переменное напряжение поступает на вход ОУ2. В обратную связь этого усилителя помимо переменного резистора $R6$ и конденсатора C включены стабилитроны $VD1$ и $VD2$. Когда выходное напряжение усилителя становится больше, чем напряжение срабатывания стабилитронов, то оно остается постоянным. Стабилитрон $VD1$ срабатывает во время положительного, а $VD2$ — отрицательного полупериода. Поэтому вместо входного синусоидального напряжения на выходе ОУ2 появляются последовательные прямоугольные импульсы с постоянной амплитудой. Конденсатор C перезаряжается через равные промежутки времени, и суммарный его заряд при $x_{11}=0$ также равен нулю.

Если на зажим 21 подавать унифицированный сигнал (например, положительный), то выходной сигнал ОУ1 не будет симметричным относительно нулевого потенциала, так как среднее значение, вокруг которого производятся колебания, будет зависеть от $U_{\text{вх}} = x_{11}$ и положения переключателя П, который осуществляет масштабирование входного сигнала. На вход ОУ2 поступит переменное напряжение, которое в течение каждого периода T_c большее время будет положительным, чем отрицательным. Этим переменным напряжением, ограниченным по амплитуде на стабилитронах $VD1$ и $VD2$, будет перезаряжаться конденсатор C . Поскольку время его заряда положительным значением тока больше, чем отрицательным ($t_n > t_o$), конденсатор будет заряжен положительно, заряд будет пропорционален $t_n - t_o$. Следовательно, напряжение U_c будет пропорционально $U_{\text{вх}}$.

Для установки нулевого значения $U_{\text{вых}}$ при $U_{\text{вх}} = 0$ на вход ОУ3 подают напряжение смещения $U_{\text{см}}$. Требуемое соотношение между входным и выходным напряжением в канале кондуктивного разделения устанавливают подстройкой переменного резистора $R6$.

Канал суммирования состоит из двух операционных суммирующих усилителей ОУ4 и ОУ5. Если все слагаемые должны быть положительными, на вход ОУ4 поступает сигнал x_{21} (значение которого может быть умножено на коэффициент α_{21} , равный 0—1,0 в зависимости от положения подвижного контакта резистора α_{21}), масштабированный сигнал x_{22} и сигнал x_{23} . Если знаки $\alpha_{22} \cdot x_{22}$ и (или) x_{23} должны быть отрицательными, то через переключатели П1 и П2 сигналы подключают на вход ОУ5, где они суммируются с положительными слагаемыми. Переключатель П3, изменяющий сопротивление обратной связи, обеспечивает умножение алгебраической суммы на постоянный коэффициент $\beta_2 = 0,5; 1,0$ или $5,0$.

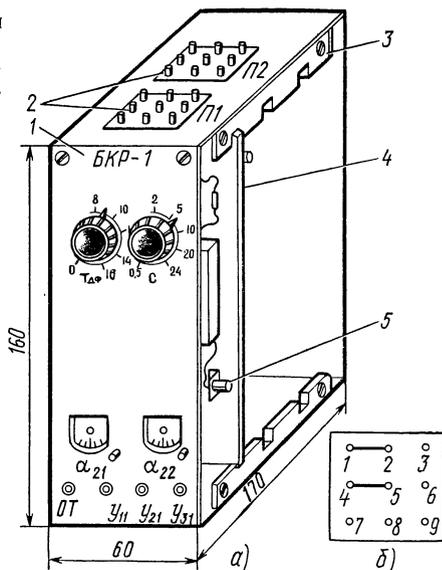
Канал динамических преобразований содержит усилители ОУ6 и ОУ7. Сигнал, который должен быть преобразован, подключают к зажиму 32 блока. При положении переключателей П4 и П5, изображенном на рисунке, канал выполняет операцию демпфирования. Напряжение U_{31} , пройдя через делитель $R15, R16$, поступает на фильтр R_T, C_T , на выходе которого при скачкообразном изменении x_{31} напряжение будет изменяться по экспоненте. Время демпфирования изменяют переменным резистором R_T .

Для дифференцирования напряжения U_{31} замыкают переключатель П5 в цепи усилителя ОУ6, а его контакты на входе ОУ7 устанавливают в положение Д. В такой схеме изменение напряжения на инвертирующем входе ОУ6 будет опережать изменение напряжения на неинвертирующем входе при изменениях x_{31} . Выходное напряжение U_{31} может быть изменено переменным резистором R_d от 0,5 до 24.

Размеры и расположение органов настройки и регулировки блока БКР1-Ш (рис. 78, а) являются типовыми для блоков шкафного исполнения любого назначения. На верхней части корпуса располагаются панели перемычек (рис. 78, б), с помощью которых выбирают вид и диапазон изменения входного сигнала, характер выполняемой тем или иным каналом операции (демпфирование или дифференцирование), коэффициент β и т. п. Число панелей перемычек для различных блоков различное (например, для БКР1-Ш равно 10).

Рис. 78. Конструкция БКР1-Ш (а) и внешний вид панели переключателей (б): 1 — передняя панель, 2 — панели переключателей, 3 — накладка, 4 — платы субблоков, 5 — подстроечный резистор

Каждая панель состоит из девяти контактных штырей, между которыми могут быть установлены проводящие переключки. На рисунке показано расположение переключек блока БКР1-Ш, который предназначен для работы x_{11} , изменяющимся от 0 до 10 В. Для x_{11} от 0 до 5 мА переключки устанавливают между штырями 1,4 и 2,5. На боковой стенке блока установлены накладки 3 (рис. 78, а) с направляющими пазами, в которые вдвигают модули различного назначения, расположенные на стандартных платах 4. На этих же платах расположены вспомогательные органы настройки (например, подстроечные резисторы 5). На передней панели 1 блока расположены рукоятки и шкалы для установки $T_{дф}$ и C , рукоятки и шкалы для установки масштабирующих коэффициентов α_{21} и α_{22} , гнезда для подключения контрольных приборов к выходам всех функциональных каналов блока.



Блок нелинейных преобразований БНП-Ш (рис. 79) предназначается для формирования выходного сигнала $y_1 = f(x_1)$, где $f(x_1)$ — любая непрерывная функция (например, $y_1 = \sqrt{x_1}$), которая может быть заменена с достаточной точностью ломаной линией, состоящей из 6 отрезков (первый канал). Кроме того, дополнительно блок может осуществлять суммирование сигналов с масштабированием по закону: $y_{21} = \beta(\pm \alpha_{21} \cdot x_{21} \pm x_{22})$, где β — коэффициент, изменяющийся дискретно; α_{21} — плавно (второй канал).

Структурно канал нелинейных преобразований состоит из шести нелинейных элементов НЭ1—НЭ6 по числу участков аппроксимации. Все элементы имеют аналогичную конструкцию и отличаются полярностью смещения и способом включения диодов.

Перед включением БНП диапазон изменения входного сигнала 0—10 В разбивают на шесть участков. Границы этих участков определяются точками заданной функции, в которых изменяются крутизна или знак характеристики. Соответствующие началу этих участков значения входных напряжений устанавливают с помощью переменных резисторов R_1 — R_6 так, чтобы $U_{см1} < \dots < U_{см5} < U_{см6}$. Работу канала нелинейных преобразований рассмотрим на примере взаимодействия двух соседних элементов НЭ6 и НЭ5.

При входном сигнале x_1 , меньшем чем $U_{см6}$, на выходе НЭ6 напряжение положительное (ОУ6 — инвертирующий усилитель), диод V_61 открыт, а диод V_62 закрыт, резисторы R_61 и R_62 имеют равные сопротивления, поз-

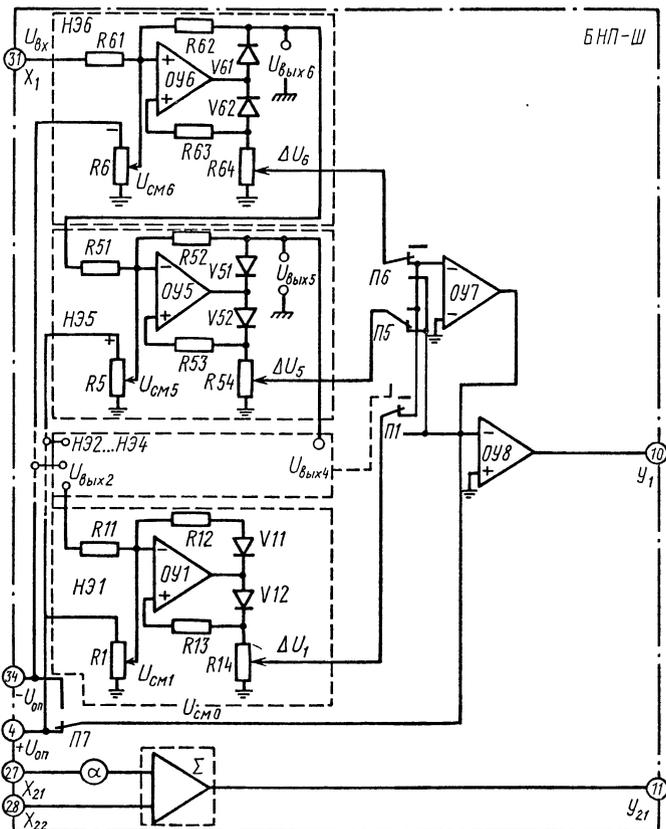


Рис. 79. Принципиальная схема блока БНП-Ш

тому $U_{\text{вых6}} = U_{\text{вх}}$. $U_{\text{вых6}}$ подается в качестве входного на элемент НЭ5 и, если оно оказывается меньшим $U_{\text{см5}}$ (диоды $V51$ открыт, $V52$ закрыт), то далее на НЭ4 и т. д. Поскольку диоды $V62$ и $V52$ закрыты, $\Delta U_6 = \Delta U_5 = 0$. Если $U_{\text{вх}} \geq U_{\text{см5}}$, то знак напряжения на выходе ОУ5 изменяется на противоположный, диод $V52$ открывается, а диод $V51$ закрывается и на делителе $R53, R54$ появляется напряжение ΔU_5 , которое через переключатель П5 поступает на один из сумматоров (ОУ7 или ОУ8). Положение переключателя определяется знаком функции в пределах напряжения ΔU_5 : при увеличении функции на пятом участке напряжения подают на ОУ7, при уменьшении — на ОУ8. Крутизна нарастания (падения) ΔU_5 зависит от положения контакта резистора $R54$ (максимальной крутизне соответствует крайнее верхнее положение контакта) и будет изменяться до тех пор, пока $U_{\text{вх}}$ не станет равным или более $U_{\text{см6}}$. Затем знак напряжения на выходе ОУ6 изменится, диод $V61$ разорвет цепь обратной связи через резистор $R62$ и на вход ОУ5 будет подано $U_{\text{см6}}$, соответствующее верхней границе НЭ5. Напряжение будет оставаться постоянным до тех пор, пока $U_{\text{вх}}$ не станет меньше $U_{\text{см6}}$. Таким образом, при изменении

(например, росте) $U_{вх}$ от нуля на выходе НЭ1 появится напряжение ΔU_1 , которое с заданным знаком и крутизной поступит на сумматоры и на выход y_1 . При достижении $U_{вх}$ значения $U_{см2}$ сигнал ΔU_1 останется на уровне, соответствующем верхней границе участка, сигнал ΔU_2 начнет изменяться и y_1 будет равен $\pm \Delta U_1 \pm \Delta U_2$. По мере роста $U_{вх}$ суммироваться будут сначала три, затем четыре и наконец все шесть напряжений нелинейных элементов.

Для уравнивания блока и сдвига выходной характеристики с помощью переключателя П7 на вход сумматора ОУ8 подаются общее для всей схемы смещение $U_{см0}$.

Канал масштабирования и суммирования БНП-Ш отличается от аналогичного канала БКР1-Ш только числом суммируемых сигналов.

На лицевую панель БНП-Ш выведены рукоятки установки крутизны функции на каждом из шести участков аппроксимации, а также рукоятки для плавного изменения напряжения $U_{см0}$ и коэффициента α_{21} в канале суммирования блока. Переменные резисторы $R1—R6$ для установки границ каждого участка аппроксимации расположены на модулях с левой стороны блока. С помощью панелей переключателей устанавливаются знаки изменения ΔU каждого участка, знаки слагаемых по каналу суммирования и значения коэффициента β .

Регулирующие блоки. В комплексе АКЭСР предусмотрены импульсные РБИ и аналоговые РБА, регулируемые блоки для управления технологическими процессами в соответствии со стандартными законами регулирования.

Блоки РБИ позволяют осуществлять ПИ-закон управления в АСР с исполнительными электрическими механизмами, скорость перемещения выходного вала двигателя у которых постоянная. Отличаясь по конструкции, типам используемых элементов, выходным сигналам, эти блоки по принципу действия аналогичны рассмотренным ранее регуляторам Р25.

Блок РБА-Ш. Рассмотрим упрощенную принципиальную схему такого блока (рис. 80). Унифицированный сигнал, характеризующий значение регулируемой величины в зависимости от ее вида (ток, напряжение), подключают к зажимам 21—23. Как правило, этот сигнал не связан с цепями передачи информации и разделен от них в блоках БКР. К зажимам 25—27 подключают сигналы от задающих устройств. Сигналы переменной и задания поступают на суммирующие ОУ $СМ_n$ и $СМ_3$. Выходные напряжения этих ОУ алгебраически суммируются на сумматоре отклонения $СМ_0$, выходное напряжение которого пропорционально отклонению переменной от задания.

Напряжение отклонения с выхода модуля суммирования МС поступает на зажим 12, который внешними переключками соединяется с зажимами 31 и 32. С этих зажимов напряжение отклонения поступает на входы модуля аналогового регулирования МРА: с зажима 31 — на вход усилителя И, охватывающего обратной связью (конденсатор $С_и$). Такой усилитель называется интегрирующим. Время его интегрирования изменяют ступенчатым переключением сопротивлений цепи заряда конденсатора с помощью переключателя $T_и$.

С зажима 32 то же самое напряжение поступает на вход дифференцирующего операционного усилителя Д, на входе которого установлен кон-

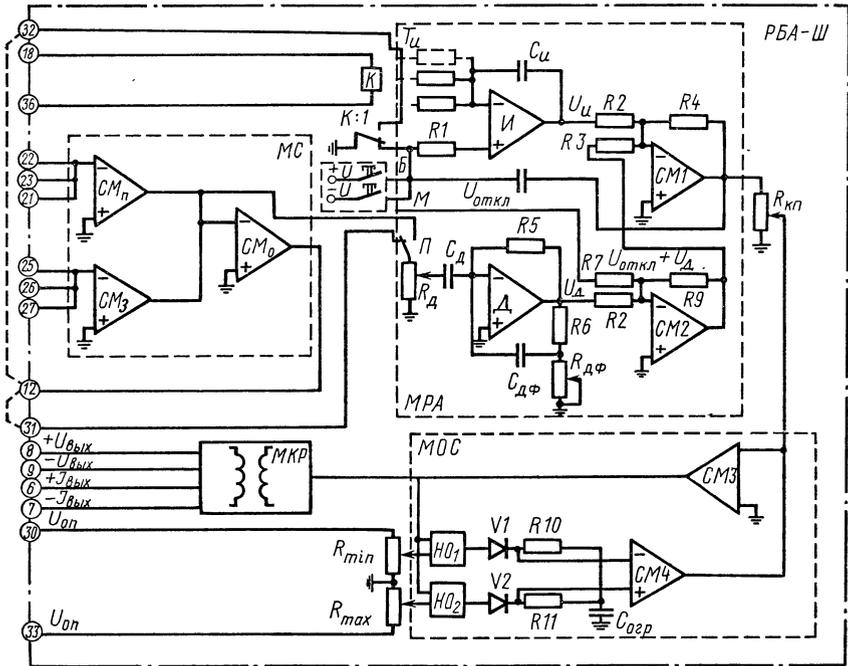


Рис. 80. Принципиальная схема блока РБА-Ш

денсатор C_d и в обратной связи резистор R_5 . При возникновении отклонения $U_{откл}$ или его изменении во времени на выходе усилителя D появится напряжение U_d , опережающее во времени изменение $U_{откл}$. Если $U_{откл} = 0$ или не изменяется, U_d на выходе усилителя исчезает.

Усилитель CM_2 производит суммирование значений U_d и $U_{откл}$, после чего напряжение, пропорциональное этой сумме, через резистор R_3 поступает на вход оконечного сумматора CM_1 модуля МРА. На этот же инвертирующий вход через резистор R_2 подключен выход усилителя I . Таким образом, выходное напряжение CM_1 равно сумме значений отклонения, интеграла от отклонения и проинтегрированного отклонения.

На резисторе $R_{кп}$ оно умножается на постоянный коэффициент и через модуль ограничения сигнала МОС передается на вход модуля кондуктивного разделения, действие которого рассмотрено при описании БКР1-Ш.

Как следует из описания принципа действия блока РБА, при отклонении значения регулируемой величины от заданного в первый момент на зажимах 6, 7 или 8, 9 появляется управляющий ток (или напряжение), значение которого будет пропорционально сумме $U_d + U_{откл}$. В начальный момент сигнал от интегрирующего усилителя $U_n = 0$. Время предварения (значение U_d) изменяют резистором R_d в цепи заряда конденсатора C_d , а коэффициент пропорциональности между $U_{откл}$ и выходными сигналами — переменным резистором $R_{кп}$.

Если регулируемая величина не должна достигать предельных значений, диапазон ее изменения уменьшают ограничением степени открытия или закрытия регулирующего органа. Для этого на вход модуля МОС

от зажимов 30 и 33 подают опорные напряжения. С помощью переменных резисторов R_{\min} и R_{\max} задают минимальное и максимальное значения управляющего сигнала, ниже и выше которых он не должен изменяться. При нахождении управляющего сигнала в заданных границах на выходе транзисторных ключей (нуль-органов) НО1 и НО2 напряжение отсутствует и выход СМ4 равен 0. Если выходной сигнал превышает заданные границы, то срабатывает НО2 и на выходе СМ4 появляется отрицательное напряжение, которое, складываясь с управляющим сигналом на входе СМ3, уменьшает его значение до заданного. Аналогичный корректирующий сигнал, но положительного напряжения, появится и при выходе управляющего напряжения за границу минимально допустимого.

Для защиты блока РБА от высокочастотных помех на входах СМ_п и СМ_з установлены демпферы с регулируемым временем демпфирования (на схеме не показаны), а также демпфер $R_{дф}$, $C_{дф}$ обратной связи дифференцирующего усилителя Д.

Переключатель П позволяет подавать на вход дифференциатора не сигнал отклонения, а только напряжение, пропорциональное значению регулируемой величины. В этом случае при резком изменении задания не произойдет нежелательного перемещения регулирующего устройства.

Блок РБА используют как в автоматическом, так и в ручном режиме управления. При переводе АСР в ручной режим на зажим 18 поступает напряжение +24 В, реле К срабатывает, перекидным контактом К:1 сигнал отклонения соединяется с общей точкой схемы. При нажатии кнопки Б (или М) на инвертирующий вход интегрирующего усилителя И поступает напряжение положительной (или отрицательной) полярности. Конденсатор С_н начинает заряжаться, $U_{н}$ растет с постоянной скоростью. Так как $U_{откл}$ равно 0 (соединено с общей точкой), то $U_{вых}$ будет равно $U_{н}$.

В режиме ручного управления в момент, когда обе кнопки Б и М отпущены и заряд С_н должен падать, модуль компенсации дрейфа МКД (на схеме не показан) автоматически поддерживает на конденсаторе С_н тот же заряд, который был на нем в момент отключения последней из кнопок.

На лицевой панели блока РБА-Ш расположены три рукоятки: плавной установки коэффициента пропорциональности (усиления) в пределах от 1 до 50; переключателя $T_{п}$ на 10 положений для установки $T_{п}$ от 5 до 500 с и плавного изменения времени предварения от 0 до 100 с. Кроме них выведены оси резисторов $T_{ф}$ (для установки времени демпфирования 0—10 с), R_{\min} и R_{\max} (ограничивающее напряжение 0—10 В), гнезда для измерения напряжений выхода (интегратора, дифференциатора, ограничителя, МРА) и общая точка схемы. На двух панелях переключают вид входного сигнала, для работы с которым предназначен блок, режим работы блока (прямой или обратный) и положение переключателя П (дифференцирования отклонения или только переменной).

§ 28. Устройства управления, сигнализации, блокировки и защиты

Устройства управления — задатчики, блоки управления, усилители команд управления, исполнительные механизмы и регулирующие органы позволяют корректировать работу измерительных систем и АСР, изменять режимы их работы, непосредственно воздействовать на технологические процессы в режиме ручного дистанционного управления.

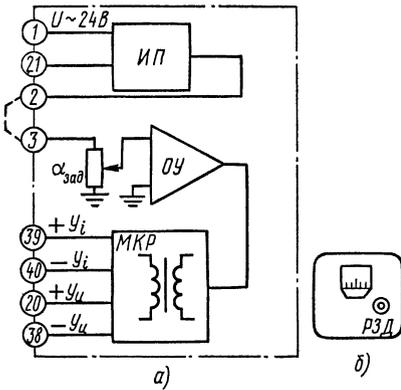


Рис. 81. Задатчик РЗД:
а — принципиальная схема, б — передняя панель

Упрощенная схема задатчика АКЭСР типа РЗД (рис. 81, а) содержит источник питания ИПс $U_{вх} = 24$ В, ОУ и модуль кондуктивного разделения МКР. Опорное напряжение от ИП поступает на зажим 5 и переменный резистор $\alpha_{зад}$. Напряжение, пропорциональное положению подвижного контакта резистора $\alpha_{зад}$, поступает на вход ОУ, а с его выхода на МКР. В зависимости от вида унифицированного сигнала внешнюю линию подключают к зажимам 39, 40 (0—5 мА) или 20, 38 (0—10 В). РЗД подсоединяют к схеме гибким кабелем с сорокаконтактным штепсельным разъемом. На передней панели (рис. 81, б) установлены ручка резистора $\alpha_{зад}$ и индикатор положения движка резистора 0—100%.

Блок управления БУ21 (рис. 82, а) в АСР с блоками Р25 позволяет выбрать один из трех режимов работы: автоматический, ручной или управления от внешних устройств. При автоматическом режиме замыкаются четыре пары контактов (на рис. 82, а показаны две), которые обеспечивают управление исполнительным механизмом от блока Р25 (замкнуты зажимы 2, 4 и 6, 8).

В ручном режиме замыкается другая группа контактов. От зажима 1 на кнопки управления поступает напряжение, которое в зависимости от требуемого направления перемещения ИМ подают на зажим 32 (М) или 31 (Б).

В ручном режиме замыкается другая группа контактов. От зажима 1 на кнопки управления поступает напряжение, которое в зависимости от требуемого направления перемещения ИМ подают на зажим 32 (М) или 31 (Б).

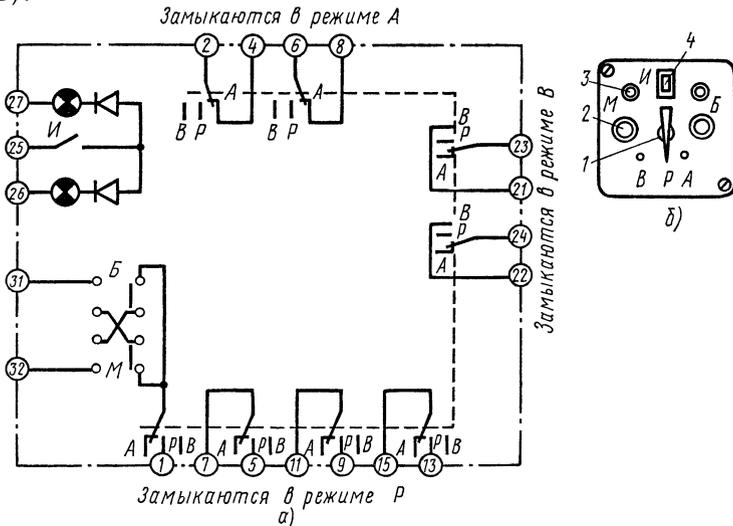


Рис. 82. Принципиальная схема (а) и внешний вид (б) БУ21:
1 — переключатель режимов, 2, 4 — кнопки, 3 — индикатор

В режиме управления от внешних устройств (например, из диспетчерского пункта) цепь управления может быть скоммутирована между парами зажимов 21, 23 и 22, 24. На лицевой панели блока расположены переключатель режимов работы 1 (рис. 82, б), кнопки управления 2, индикаторы 3 направления движения ИМ и кнопка 4 для подключения индикаторов к цепям управления ИМ.

Блоки *ручного управления БРУ* применяют в комплексе АЭСР для изменения режимов работы АСР. Выпускают следующие модификации: БРУ-1К с кнопкой для перевода АСР в ручное управление;

БРУ-2К с кнопками Б и М и сигнальной лампой режима работы; при нажатии любой из кнопок блок своими контактами переводит АСР в ручной режим: дает сигнал на реле К (см. рис. 80);

БРУ-3К и БРУ-У (рис. 83) одинаковой конструкции с тремя кнопками.

БРУ-У дополнительно имеет измерительный прибор 1 для указания положения ИМ.

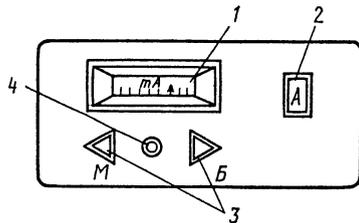


Рис. 83. Блок ручного управления БРУ-У:

1 — измерительный прибор, 2 — клавиши, 3 — кнопка, 4 — сигнальная лампа

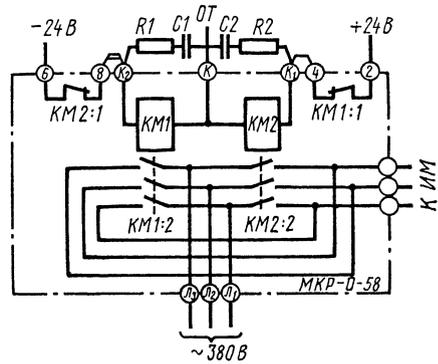


Рис. 84. Принципиальная схема магнитного пускателя

Режим автоматического управления АСР обеспечивается нажатием клавиши 2 (А). В этом режиме БРУ-У коммутирует цепи своими контактными группами. Для перевода АСР в ручной режим нажимают одну из кнопок 3 (Б или М). При этом загорается лампа 4 и горит до повторного нажатия кнопки А.

Электромеханические усилители (пускатели) применяют для приведения в действие ИМ, когда мощности сигналов регулирующих блоков для этого недостаточно. Рассмотрим схему реверсивного магнитного пускателя (рис. 84), применяемого в АСР с блоками Р25 и РБИ. На вход пускателя подключают линии Л₁—Л₃ от трехфазной сети переменного тока. Управляющий сигнал подается на зажим 2 (+24 В) или 6 (−24 В). При подаче положительного управляющего сигнала ток, проходя через замкнутый блок-контакт КМ1:1, управляемый катушкой КМ1, и катушку КМ2 к общей точке схемы ОТ, возбуждает катушку и ее контактная группа КМ2:2 замыкается. На двигатель ИМ поступает напряжение с прямой последовательностью фаз. Контакт КМ2:1 в цепи возбуждения катушки КМ1 пускателя размыкается. В этом случае возбуждение катушки КМ1 будет возможным только при отсутствии тока в катушке КМ2. Такая

блокировка предотвращает короткое замыкание силовых цепей при случайном нажатии двух кнопок (*Б* и *М*) на блоке БУ21.

При включении катушки КМ1 порядок следования фаз (линии *Л*₂ и *Л*₃) меняется и двигатель ИМ вращается в противоположную сторону.

Исполнительные механизмы МЭО применяют в качестве исполнительных устройств в электрических системах. Их выпускают с индуктивными и реостатными датчиками угла поворота. На корпусе 1 (рис. 85) МЭО с индуктивными датчиками установлены редуктор 2 и электродвигатель 6. Внешние цепи управления и сигнализации подключают кабелем через вводы 4 с сальниковыми уплотнениями. Вращение электродвигателя передается через редуктор выходному кривошипу 3 через ведущий вал 5. На передней стороне МЭО на валу установлен блок датчиков, состоящий из четырех кулачков 7, разделенных втулками.

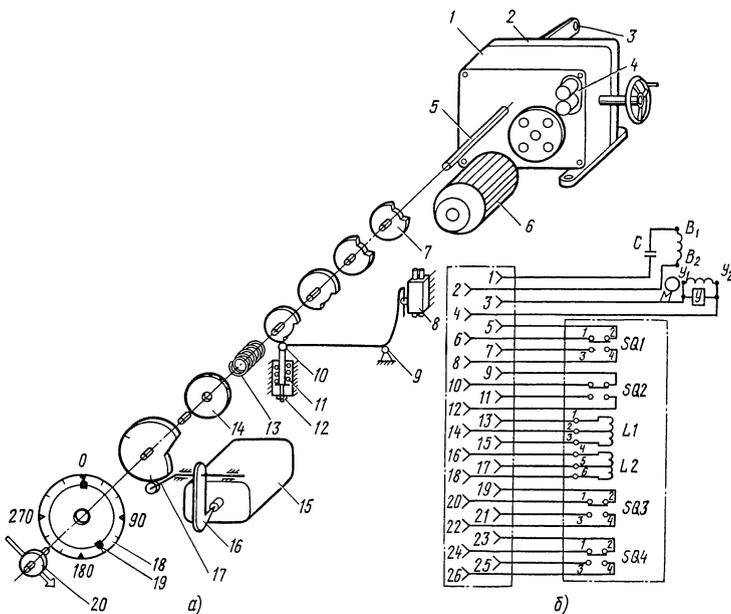


Рис. 85. Исполнительный механизм МЭО (а) и его электрическая схема (б):
 1 — корпус, 2 — редуктор, 3 — кривошип, 4 — ввод, 5 — вал, 6 — двигатель, 7, 17 — кулачки, 8 — микровыключатель, 9, 16 — рычаги, 10 — ролик, 11, 13 — пружины, 12, 14 — гайка, 15 — датчик, 18 — шкала, 19 — указатель, 20 — стрелка

Кулачки фиксируются на валу гайкой 14 и пружиной 13. Кулачки при вращении вала обкатываются роликами 10, которые, попадая во впадины кулачка, позволяют рычагам 9 под действием пружин 11 повернуться по часовой стрелке и нажать на кнопки микровыключателей SQ1—SQ4 (рис. 85, б), которые коммутируют внешние цепи. На валу для измерения угла его поворота установлен профилированный кулачок 17, который обкатывается роликом, помещенным на конце рычага 16. При изменении угла поворота вала рычаг 16 поворачивается вокруг оси и перемещает плунжер индуктивного датчика 15 относительно катушек. Положение вала

механизма оценивают по перемещению стрелки 20 относительно шкалы 18. Начальное положение и диапазон работы механизма устанавливают с помощью указателей 19.

Исполнительный механизм имеет механические упоры с регулируемым положением, которые ограничивают перемещение кривошипа 3, а также электрический тормоз (на рисунке не показаны). Для ручного управления предусмотрен штурвал, вращая который перемещают кривошип при настройке или при отключении энергии.

У исполнительных механизмов МЭО с реостатными датчиками вместо профилированного кулачка 17 на валу укреплено токосъемное устройство, которое перемещается по реостатам с сопротивлением 120 Ом. Для закорачивания нерабочих витков реостатов предусмотрено поворотное устройство.

Регулирующие органы. Для управления потоками сред в электрических системах используют регулирующие клапаны или поворотные заслонки. Клапан для регулирования потоков жидкостей под давлением (рис. 86) состоит из корпуса 1 и перегородки с отверстиями (седлами) 2. На штоке 4 клапана укреплены затворы 3 в виде цилиндров с окнами (вырезами) заданного профиля. При перемещении затвора относительно корпуса вырезы полностью или частично перекрываются плоскостями седел и изменяют сопротивление клапана потоку регулируемой жидкости. Затвор перемещается исполнительным механизмом, вал которого через систему рычагов передает перемещение тяге 5.

Регулирующими заслонками изменяют расход газа при малых перепадах давлений на регулирующих устройствах. В закрытом положении плоскость заслонки перпендикулярна оси трубопровода и поток газа отсутствует, при повороте заслонки на некоторый угол открывается часть сечения трубопровода. Если угол более 60° , расход становится плохо управляемым.

Устройства сигнализации. Релейная схема технологической сигнализации переменного тока (рис. 87, а). При включении автоматического расцепителя Q загорается лампа контроля напряжения HL11. При достижении любой из измеряемых физических величин предельного значения или состояния срабатывает сигнализатор (например, первый) и замыкает контакт S1 (на рисунке обведен пунктирной окружностью). Затем через замкнутые контакты K12:2 и K1:2 реле K11 сработает, блокируется своим контактом K11:1 и одновременно включает сирену HA и свой повторитель K12. Последний включает реле K1,

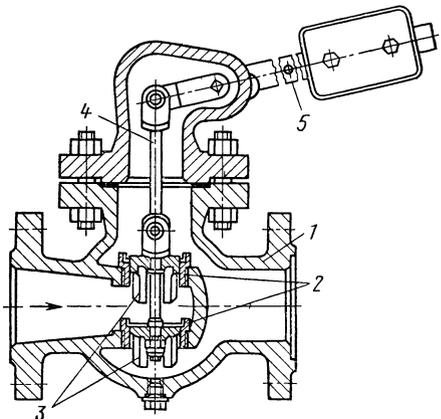


Рис. 86. Золотниковый регулирующий клапан:
1 — корпус, 2 — перегородка, 3 — затворы,
4 — шток, 5 — тяга

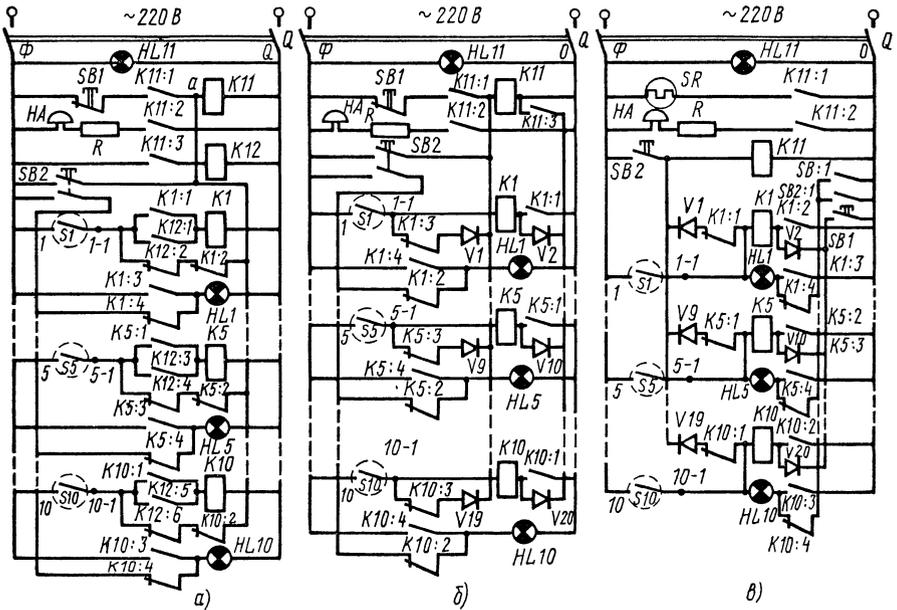


Рис. 87. Релейные схемы технологической сигнализации (а), с разделительными диодами (б) и мигающим светом (в)

которое сработает, а затем заблокируется своим контактом $K1:1$ и контактом $K1:3$ включит сигнальную лампу $HL1$.

После восприятия информации оператор нажимает кнопку съема сигнала $SB1$, реле $K11$ и $K12$ обесточиваются и схема готова к восприятию нового сигнала. Лампа $HL1$ продолжает гореть до восстановления нормального значения физической величины.

Схемой предусмотрена проверка исправности звонка и нитей ламп. Для проверки нажимают кнопку опробования сигнализации $SB2$. При этом подается питание на все сигнальные лампы через замкнутые контакты $K1:4, \dots, K5:4, \dots, K10:4$ и на реле $K11$, которое включает сирену.

Схема технологической сигнализации переменного тока с разделительными диодами (рис. 87, б) собрана на таких же элементах, но с применением германиевых диодов. При срабатывании, например, первого сигнализатора через его контакт $S1$, закрытый контакт $K1:3$, диод $V1$ срабатывает реле $K11$: включает сирену и контактом $K11:3$ подает питание через диод $V2$ на катушку реле $K1$. Затем реле $K1$ сработает, заблокируется через контакт $K1:1$, включит сигнальную лампу $HL1$. После нажатия оператором кнопки $SB1$ реле $K11$ обесточится, выключит сирену и схема будет готова к восприятию сигнала о нарушении следующей физической величины. Диоды $V1$ и $V2$ включены по отношению друг к другу встречно и «не позволяют» образовывать через себя последовательную цепь. Для опробования устройств нажимают кнопку $SB2$ для подачи питания на обмотку реле $K11$ и на все сигнальные лампы через закрытые контакты $K1:4, \dots, K5:4, \dots, K10:4$.

Схемы переменного тока с мигающим светом (рис. 87, в) применяют в случае большого числа точек сигнализации. При срабатывании любого из устройств, включенных в систему, замыкается его контакт, срабатывает реле *K11*, включает источник мигающего света *SR* (моторный или пульсару): сигнальная лампа, в цепи которой замкнут контакт сигнализатора, загорается мигающим светом через контакт *SRI*. После восприятия информации оператор нажимает кнопку *SB1* и через диод (например, *V2*) срабатывает реле *K1*, контакт *K1:4* размыкается, а *K1:3* замыкается и лампа *HL1* начинает гореть ровным светом. Одновременно реле *K1* блокируется своим контактом *K1:2* и, размыкая контакт *K1:1*, разрывает цепь питания катушки реле *K11*. Сирена выключается, и источник мигающего света прекращает свою работу. Для опробования сигнализации нажимают кнопку *SB2*: срабатывает реле *K11*, включается источник света *SR* и через контакты реле *K1:4*, ..., *K5:4*, ..., *K10:4*, ..., *K1:1*, ..., *K5:1*, ..., *K10:1*, диоды *V1*, ..., *V9*, ..., *V19* мигающий свет поступает на все сигнальные лампы.

Устройство блокировки и защиты рассмотрим на примере логической системы автоматической блокировки и защиты высокооборотной турбогазодувки (рис. 88, б). Турбогазодувка при работе забирает воздух от общего всасывающего коллектора (рис. 88, а) при открытой задвижке *З1* с электроприводом. После пуска газодувки и набора ею давления должна быть открыта задвижка *З2* на линии нагнетания.

Перед пуском турбогазодувки включают автомат *A*, загорается лампа контроля напряжения *HL1*. Затем поворачивают ключ *SA* на 45° от нейтрального положения на отметку «Автомат». При этом замыкаются контакты 1—2; 5—6; 7—8; 11—12 и 13—14. Остальные контакты ключа в этом положении разомкнуты. Нажимают кнопку газодувки *SB5*, катушка реле *K1* оказывается под напряжением и через контакт *K1:2* включается двигатель задвижки *З1* на всасывающей линии. Реле *K1* на время открытия задвижки блокируется. После открытия задвижки срабатывают конечные выключатели открытия, один из которых (*S1*) обесточивает реле (*K1*), а другой (*S2*) — соленоид *У1* вентиля, открывающего подачу охлаждающей воды к подшипникам турбогазодувки. После подачи воды блок-контактом *SQ:4* загорается лампа *HL3* открытия.

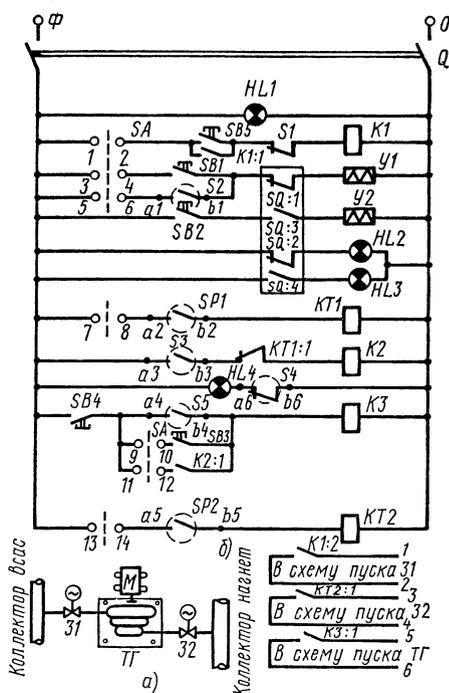


Рис. 88. Технологическая схема (а) и принципиальная схема блокировки и защиты турбогазодувки (б)

Поскольку без охлаждения пуск турбогазодувки недопустим, на линии сброса воды после подшипников установлено струйное реле *SP1*, которое при наличии постоянного потока воды включает реле времени *KT1*. Реле *KT1* через 5—10 с после срабатывания реле *SP1* через контакт *KT1:1* и контакт открытия задвижки на всасывающей линии *S3* включает реле пуска *K2*. Контакт *K2:1* подает напряжение на обмотку реле управления *K3*, которое своим контактом *K3:1* включает контактор магнитной станции, управляющей электродвигателем *M* турбогазодувки. После пуска двигателя гаснет лампа *HL4* останова газодувки (разрывается блок-контакт газодувки *S4*), а реле управления блокируется контактом *S5* магнитной станции турбогазодувки. После набора установленного давления срабатывает мембранный сигнализатор *SP2*: включает реле времени *KT2*, которое через 2с подает команду на открытие задвижки *З2*

Глава X

ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ РЕГУЛИРУЮЩИЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

§ 29. Элементы пневматических устройств

Для пневматических устройств применяют изделия универсальной системы элементов промышленной пневмоавтоматики (УСЭППА) и созданные на ее основе типовые узлы и модули. Элементы УСЭППА унифицированы по конструкции, способам монтажа, величинам входных и выходных сигналов. Элементы представляют собой наборные конструкции из металлических секций, разделенных гибкими резиноканевыми мембранами с жесткими центрами. Монтируют их на платах из оргстекла, прижимают к ним винтами, а места соединений уплотняют резиновыми кольцами. Внутри плат проходят каналы, образующие схему соединений блока или модуля.

Входными и выходными сигналами пневматических устройств является давление сжатого воздуха в диапазоне 0,02—0,1 МПа. Давление питания 0,14 МПа.

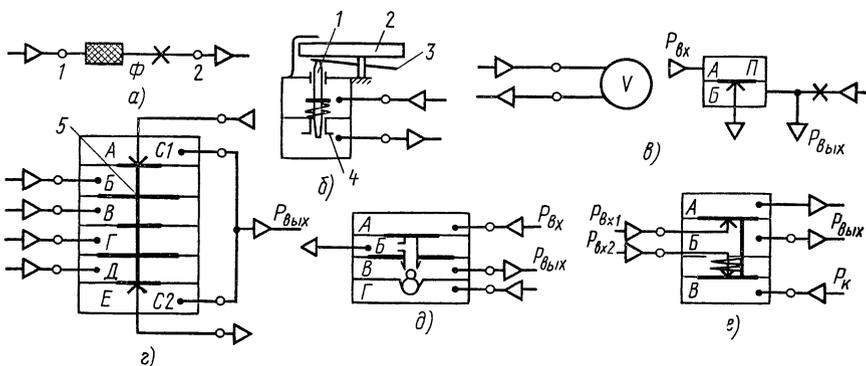


Рис. 89. Пневматические постоянный (а) и переменный (б) дроссели, емкость и повторитель (в), элемент сравнения (г), усилитель (д) и реле (е):

1 — игла, 2 — рукоятка, 3 — лекало, 4 — капилляр, 5 — мембранный блок

По аналогии с электрическими устройствами в пневмоавтоматике используют постоянные и переменные резисторы (дроссели). Постоянный дроссель (рис. 89, а) представляет собой капилляр 4 диаметром 0,18 мм и длиной 20 мм. Фильтр Ф предохраняет капилляр от засорения. При протекании воздуха через дроссель давление воздуха на выходе 2 будет меньше, чем на входе 1. Особенность пневмосопротивлений состоит в том, что пропускная способность дросселя изменяется пропорционально перепаду давления только при значениях $p_{вх} - p_{вых} < 0,04$ МПа.

Переменный дроссель (рис. 89, б) по назначению аналогичен переменному электрическому резистору. В отверстие капилляра 4 при повороте рукоятки 2 входит металлическая игла 1 конической формы. В зависимости от положения лекала 3 игла перекрывает некоторую часть входного отверстия капилляра, изменяя сопротивление дросселя сжатому воздуху.

Пневмемкость V (рис. 89, в) и повторитель Π по назначению аналогичны соответственно конденсаторам и полупроводниковым диодам. Вместимость пневмемкости V (до 50 см³) значительно превышает емкость каналов и камер элементов.

Повторитель Π разделяет мембраной каналы входного и выходного давлений. Входное давление $p_{вх}$ подают в камеру А, а питание через постоянный дроссель — в камеру Б. Если давление в камере Б, например, ниже, чем в камере А, мембрана прогнется и прикроет сопло сброса воздуха в атмосферу. Повторитель имеет только одно положение устойчивого равновесия, когда $p_{вх} = p_б = p_{вых}$.

В качестве усилителей давления в пневмоавтоматике используют трех-, пяти- и семимембранные элементы сравнения ЭС (рис. 89, з). Пятимембранный элемент сравнения (ЭС5) состоит из шести секций, разделенных мембранами. Образованные мембранами камеры Б, В, Г и Д глухие. Мембраны соединены в блок 5, при перемещениях которого даже на доли миллиметра открываются или перекрываются отверстия сопел С1 и С2. Так, увеличение входного давления (например, в камере В) всего на 0,0005 МПа достаточно для перекрытия сопла С1 и открытия сопла С2. Если в сопло С1 подать питание 0,1 МПа, а сопло С2 соединить с атмосферой, то при таком малом изменении входного сигнала $p_{вых}$ изменится от 0,1 МПа до нуля.

Аналогично электрическим операционным усилителям типовые звенья с заданными статическими и динамическими характеристиками в пневмоавтоматике получают путем охвата элементов сравнения обратными связями. Рассмотрим схему усилителя пневматического сигнала (рис. 90, а). Элемент сравнения будет находиться в равновесии только при равенстве $p_{вх}$ и $p_о с$. При полностью закрытом дросселе Д2 давление в камере Д будет равно $p_{вых}$ и коэффициент усиления элемента равен 1. Если начать открывать Д2, то $p_{вых}$ будет увеличиваться при неизменном $p_{вх}$ и коэффициент усиления будет расти. Суммирующий усилитель получают, подавая давление в камеры Б и В. Выходное давление в этом случае будет $p_{вых} = \kappa(p_с - p_в + p_б)$. Давление в камере В берется с обратным знаком, так как при увеличении $p_в$ усилие на мембранный блок будет направлено противоположно усилиям в камерах Б и Г. Разница в значении усилий зависит от отношения площадей мембран, разделяющих секции.

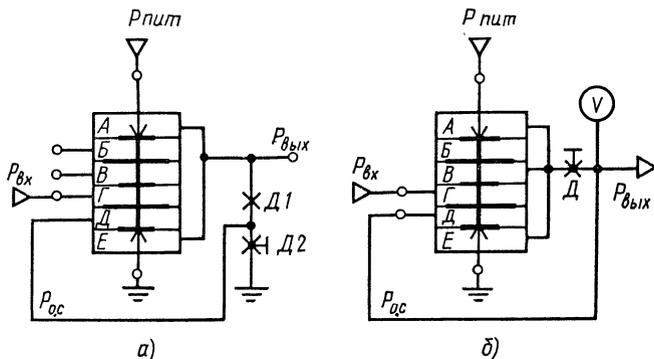


Рис. 90. Суммирующий (а) и интегрирующий (б) пневматические усилители

Для интегрирования пневматического сигнала в качестве обратной связи используют инерционное звено, получаемое комбинацией переменного дросселя и пневмемкости V (рис. 90, б). При изменении $p_{вх}$ на $\Delta p_{вх}$ выходное давление элемента сравнения за счет единичной обратной связи (выход элемента соединен с камерой B) изменится также на $\Delta p_{вх}$. Емкость V начнет заполняться воздухом и $p_{вых}$ будет расти со скоростью, зависящей от проводимости дросселя D . Это же давление в виде обратной связи, подведенное к камере D , будет увеличивать $p_{вых}$. В каждый момент $p_{вых} = p_{вх} + p_{o.c.}$, поэтому на дросселе D автоматически поддерживается перепад давления $\Delta p_{вх}$. За счет поддержания постоянного перепада стабилизируется скорость заполнения емкости V и поддерживается постоянная скорость изменения $p_{вых}$.

Для усиления пневматического сигнала по мощности, достаточной для передачи и управления исполнительными устройствами, используют усилители мощности (см. рис. 89, д). В камеру G поступает питающий воздух. Пропускное отверстие между камерами B и G перекрывается шариковым клапаном. Давление в камерах A и B выравнивается и далее поддерживается постоянным за счет сброса части воздуха в атмосферу через полый шток.

Логические элементы в пневмоавтоматике создаются с помощью трехмембранных реле. В качестве логического нуля используют атмосферное давление, а единицы — 0,1 МПа. Для получения логического элемента НЕ в камеру реле подают давление подпора $p_{подп}$ 0,08 МПа (рис. 91, а). При $p_{вх} < p_{подп}$ мембранный блок перемещен вверх, открыто сопло $p_{пит}$ и закрыто сопло сброса. На выходе $p_{вых} = p_{пит}$ (логическая 1). При подаче в камеру B давления, соответствующего логической 1, мембранный блок переместится вниз, закроет сопло питания и соединит $p_{вых}$ с атмосферой.

Трехмембранные реле (рис. 91, б) выпускают с заранее установленным с помощью пружины сдвигом. При подаче на вход такого реле сигнала $p_{вх1}$ на выходе появится логическая 1 через открытое пружиной нижнее сопло. Такой же сигнал появится на выходе и при наличии единичного давления $p_{вх2}$. В этом случае мембранный блок переместится вниз и на выход будет подано через верхнее сопло $p_{пит}$. По принципу действия эта схема соответствует логическому элементу ИЛИ.

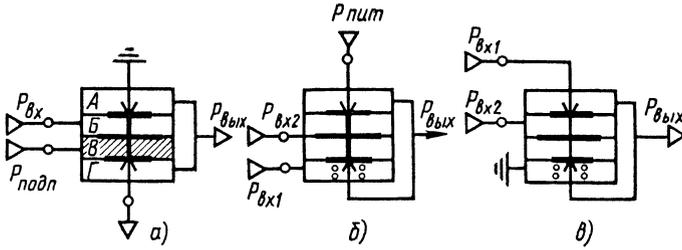


Рис. 91. Пневматические элементы НЕ (а), ИЛИ (б) и И (в)

Элемент И (рис. 91, в) обеспечивает появление выходного сигнала только при наличии единичных сигналов на входах. При наличии давления только на $p_{вх1}$ давление $p_{вых} = 0$, так как верхнее сопло закрыто под действием пружины. При подаче $p_{вх2}$ верхнее сопло откроется, но давление на выходе не изменится, так как $p_{вх1} = 0$. И только совместное появление на обоих входах логической 1 вызовет такой же сигнал на выходе элемента.

В качестве переключателя в логических и аналоговых схемах используют реле (см. рис. 89, е). При отсутствии команды под действием пружины открыто нижнее сопло и $p_{вых} = p_{вх2}$. При подаче управляющего сигнала p_k выходное давление $p_{вых} = p_{вх1}$.

§ 30. Регулирующие и функциональные блоки «Старт»

Регулирующие и функциональные блоки «Старт» унифицированы по конструкции корпусов, устройств крепления и присоединения. В качестве входных и выходных сигналов принято давление сжатого воздуха 0,02—0,1 МПа, а в качестве элементной базы — УСЭППА.

Базовыми регулирующими блоками, на основе которых создаются остальные регуляторы, являются ПРЗ-31 (рис. 92, а). Эти блоки широко

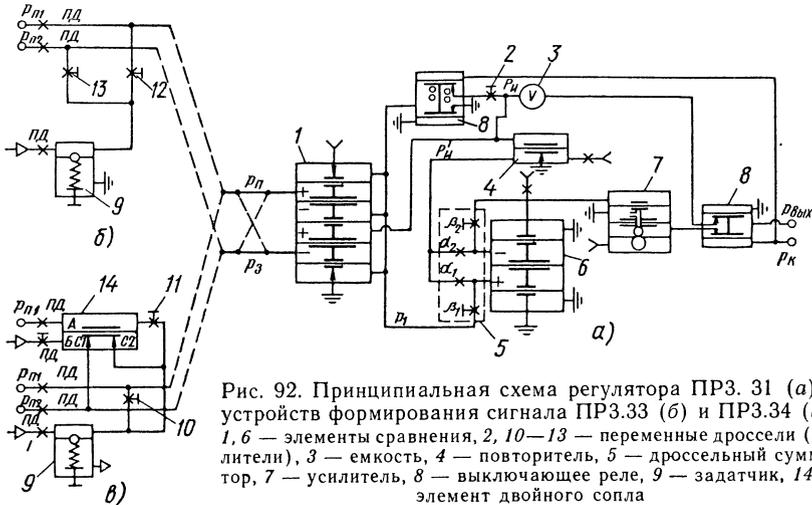


Рис. 92. Принципиальная схема регулятора ПРЗ. 31 (а) и устройств формирования сигнала ПРЗ.33 (б) и ПРЗ.34 (в): 1, 6 — элементы сравнения, 2, 10—13 — переменные дроссели (делители), 3 — емкость, 4 — повторитель, 5 — дроссельный сумматор, 7 — усилитель, 8 — выключающее реле, 9 — задатчик, 14 — элемент двойного сопла

применяют во всех отраслях промышленности, где для автоматизации технологических процессов применяют пневмоавтоматику.

На входной пятимембранный элемент 1 блока поступают пневматические сигналы, пропорциональные заданному p_3 и фактическому p_n значениям регулируемой величины. При равенстве p_3 и p_n равновесие элемента 1 возможно лишь при равенстве давления p_1 и давления p_n за дросселем 2. При неравенстве p_n и p_3 давление $p_1 = p_n + (p_n - p_3)$ и на дросселе 2 возникнет перепад давления, равный $p_n - p_3$. Воздух начнет перетекать через дроссель 2, и давление в пневмоемкости 3 изменится. Скорость изменения давления p_n будет пропорциональна степени открытия дросселя 2. Давление p_n подведено к глухой камере повторителя 4, который будет находиться в равновесии только при равенстве $p_n = p'_n$. Давления p_1 и p'_n подводят к трехмембранному элементу 6 через дроссельный сумматор 5, состоящий из двух постоянных α_1 и α_2 и регулируемых β_1 и β_2 пневмосопротивлений. Сечения сопротивлений подобраны таким образом, что в открытом состоянии $\beta \gg \alpha$. Если сигнал на входе регулирующего блока равен нулю, то $p_1 = p_n$ и давление в плюсовой камере элемента 6 также будет равно p_n , так как перетока воздуха через α_1 в этом случае не будет. Можно сказать, что при равенстве переменной и задания (входной сигнал равен нулю) выходное давление равно давлению на выходе интегратора p_n и будет постоянным, так как давление p_n не будет изменяться. Если при полностью открытых β_1 и β_2 на входе блока появится сигнал $p_n - p_3$, то в плюсовой камере элемента 6 давление будет равно $p_1 - p_n = (p_n - p_3)$. Это же давление будет и на выходе регулятора, так как проводимости делителей в этом случае равны. При таком положении дросселей коэффициент усиления регулятора будет равен 1, а выраженная в процентах обратная ему величина δ — диапазон пропорциональности — 100 %.

Закрытие сопротивления β_1 вызовет увеличение или уменьшение давления в плюсовой камере за счет перетока воздуха через делитель α_1 , β_1 , соответственно увеличится изменение $p_{\text{вых}}$ при одном и том же входном сигнале. Таким образом, закрытие сопротивления β_1 вызывает увеличение коэффициента усиления блока (уменьшение δ). Конструктивно сечения сопротивлений α и β выбраны такими, что при закрытии β_1 диапазон пропорциональности уменьшается от 100 до 2 %.

Если при $p_n - p_3 \neq 0$ и открытом β_1 начать закрывать β_2 , то давление в минусовой камере будет изменяться тем больше, чем больше будет закрыт β_2 и при полностью закрытом дросселе изменение входного сигнала не вызовет изменения выходного. В этом случае выходной сигнал будет изменяться пропорционально давлению p_n на выходе интегратора. Сопротивление β_2 имеет пропуск в закрытом состоянии, поэтому коэффициент усиления не равен нулю, а имеет конечное значение $\approx 0,033$ (диапазон пропорциональности 3000 %).

Таким образом, при отклонении значения регулируемой величины по сравнению с заданным давление на выходе регулятора изменится на величину $\delta(p_n - p_3)$ и затем будет изменяться до тех пор, пока входной сигнал не станет равным 0. Скорость этого изменения будет определяться степенью открытия дросселя 2.

Для воздействия на исполнительные устройства выходной сигнал уси-

ливаются усилителем 7. Элементы 8 предназначены для отключения выхода регулятора при ручном управлении и подготовки АСР к бестолчковому переключению в автоматический режим.

На базе регулирующего блока ПР3.31 построены блоки ПР3.32, ПР3.33 и ПР3.34. Регулирующий блок ПР3.32 имеет встроенный задатчик, позволяющий использовать его в автоматических системах регулирования, управляют которыми не с пульта оператора, а с места установки регулятора. В устройстве формирования сигнала для регуляторов соотношения типа ПР3.33 (рис. 92, б) входные цепи задания и переменной представляют собой дроссельные делители. Воздух сбрасывается не в атмосферу, а в камеру задатчика 9 с давлением воздуха 0,02 МПа — нижним пределом изменения пневматического унифицированного сигнала. Соотношение между значениями сигналов (один из сигналов, как правило, выбирают ведущим) устанавливают на головках дроссельных делителей, имеющих диапазон изменения соотношения от 1:4 до 4:1.

Несколько сложнее устройство формирования входного сигнала у регуляторов типа ПР3.34 (рис. 92, в). Эти регуляторы применяют для регулирования соотношения двух пневматических сигналов с корректировкой этого соотношения по значению третьего сигнала.

Сигналы p_{n1} и p_{n2} , соотношение которых регулируется, подаются на вход устройства формирования. Сигнал p_{n1} может быть умножен на постоянный коэффициент изменением проводимости дросселя 10, осуществляющего сброс части входного давления в камеру задатчика 9 с давлением 0,02 МПа.

Умножается значение сигнала p_{n2} на коэффициент с помощью элемента 14. В камеру А элемента 14 подается корректирующее давление $p_{пз}$ через постоянный дроссель ПД. Давление в камере А будет зависеть от $p_{пз}$ и степени открытия дросселя 11, сбрасывающего давление из камеры А в линию с давлением 0,02 МПа. Давление в камере Б повторяет давление в камере А, таким образом сброс давления из линии p_{n2} в камеру с давлением 0,02 МПа происходит через управляемое сопротивление (камера Б и сопла С1 и С2). При увеличении $p_{пз}$ проводимость элемента 14 уменьшается, при уменьшении увеличивается. Степень воздействия $p_{пз}$ на соотношение переменных p_{n1} и p_{n2} зависит от проводимости переменного дросселя 11.

Функциональные блоки «Старт» предназначены для выполнения простейших арифметических и алгебраических операций над унифицированными пневматическими сигналами.

Функциональный блок типа ПФ1.1 предназначен для выполнения операций сложения двух пневматических сигналов, вычитания пневматического сигнала из суммы двух других, умножения или деления сигнала на два и т. п. Блок (рис. 93) состоит из семимембранного элемента сравнения 3 и усилителя мощности 4, охваченных отрицательной обратной связью с коэффициентом 1. Пневматические сигналы, над которыми производятся операции, подключают к штуцерам p_1 , p_2 и p_3 блока. В камеры Е и Ж от задатчиков давления 1 и 2 могут быть поданы постоянные сигналы $+p_{с2}$ и $-p_{с1}$. При подаче давления p_1 , p_2 и p_3 блок будет находиться в равновесии, если выходное давление $p_{вых} = p_1 + p_3 - p_2 + p_{с2} - p_{с1}$. Если на вход прибора подать сигналы p_1 и p_2 , то $p_{вых} = p_1 - p_2 - p_{с1}$.

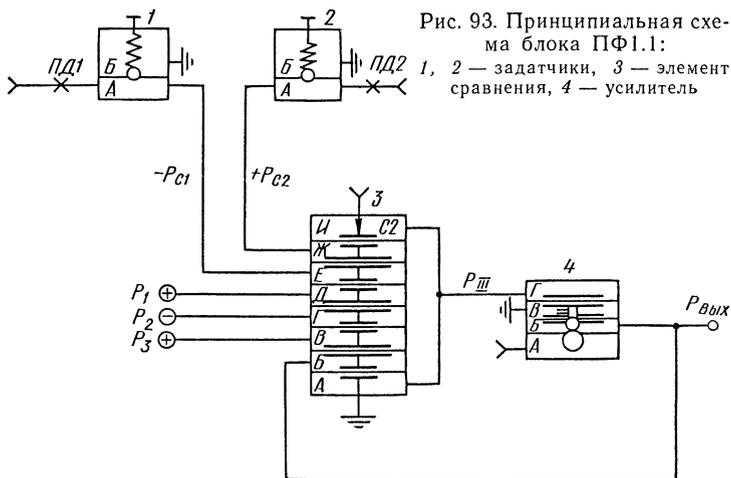


Рис. 93. Принципиальная схема блока ПФ1.1: 1, 2 — задатчики, 3 — элемент сравнения, 4 — усилитель

Для деления пневматического сигнала на два входное давление подключают к штуцеру p_1 или p_3 , а выходной сигнал переключкой соединяется со штуцером p_2 . В этом случае блок будет находиться в равновесии, если выходной сигнал будет равен половине значения p_1 или p_3 .

Для умножения на два пневматический сигнал заводят в обе плюсовые камеры $Д$ и $В$ одновременно, в этом случае давление отрицательной обратной связи будет уравнивать сумму двух одинаковых давлений и, следовательно, будет в два раза больше каждого из них.

Функциональный блок часто применяют для инвертирования сигнала. Например, при измерении уровня гидростатическим способом максимальному его значению соответствует нулевой пневматический сигнал на выходе измерительного преобразователя, а при минимальном — наоборот. Чтобы шкала вторичного прибора была прямой, на линии переменной устанавливают блок ПФ1.1. Задатчиком 2 устанавливают давление 0,12 МПа, а переменную подключают к штуцеру p_2 . В этом случае выходной сигнал $p_{\text{вых}} = p_{с2} - p_2$. Предел допускаемой основной погрешности блока не превышает 1 % от диапазона измерения входного сигнала.

Прибор устанавливают, как правило, в помещении центрального пульта управления. Для питания прибора применяют чистый сжатый воздух давлением $0,14 \pm 0,014$ МПа.

Блок ПФ1.9 умножения пневматического сигнала на постоянный коэффициент предназначен для умножения сигнала измерительной информации в диапазоне 0,02—0,1 МПа на коэффициент, изменяющийся в пределах от 0,2 до 5. Прибор выполняет операцию $p_{\text{вых}} = k(p_{\text{вх}} - 0,02) + 0,02$ МПа. Блок (рис. 94) состоит из узла сравнения, собранного на элементах II и III , принцип работы которого аналогичен рассмотренному для приборов, например, типа ПФ1.1. На элементах I и X собран узел генератора. От задатчика давления I в камеру элемента X подается подпор 0,04 МПа. Под действием подпора мембранный блок переместится вниз и на выходе элемента появится давление питающего воздуха. Через переменный пневморезистор XI камера трехмембранного элемента начнет запол-

множитель — будет меньше 1. Зависимость коэффициента передачи от объемов емкостей имеет вид $k_n = V_{VI} / (V_{VII} + V_{VI})$.

При необходимости умножить сигнал на коэффициент k , больший единицы, входной сигнал через переключку 11—12 переключателя поступает на вход элемента II, а на вход пульсирующего дросселя через переключку 14—10 подаются выходной сигнал. В этом случае элемент II будет находиться в равновесии при $p_{вх} = p_{др}$, но $p_{др}$ всегда будет меньше $p_{вх}$. Следовательно, коэффициент k всегда будет больше 1.

Прибор настраивают на заданный коэффициент усиления (значение множителя) при выпуске из производства или после лабораторной проверки. Предел допускаемой основной погрешности реализации произведения при изменении $p_{вх}$ от 0,03 до 0,09 МПа равен 1 %, или составляет 0,0008 МПа.

Функциональный блок ПФ1.17 (рис. 95) предназначен для извлечения квадратного корня из пневматического унифицированного сигнала и реализует зависимость

$$p_{вых} = \sqrt{0,08(p_{вх} - 0,02) + 0,02} \text{ МПа.}$$

Входное давление подается на узел аппроксимации зависимости с помощью трех прямолинейных отрезков. Порог начала работы каждого из трех повторителей со сдвигом 1—3 устанавливают, исходя из графика (рис. 95, б), чтобы обеспечить перекрытие момента начала работы следующего по ходу повторителя. Первый повторитель обеспечивает повторение входного сигнала в диапазоне 0,03—0,045 МПа со сдвигом, примерно равным 0,015—0,02 МПа. При достижении входным давлением 0,04 МПа

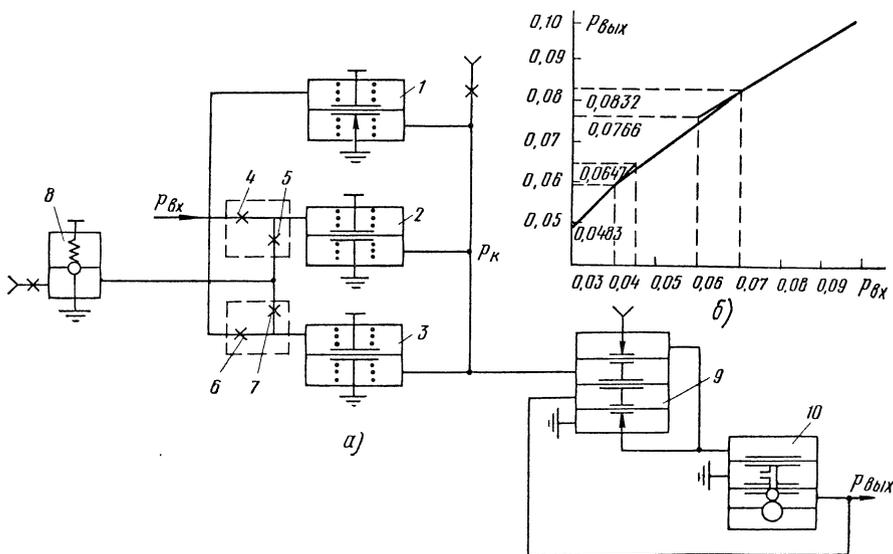


Рис. 95. Принципиальная схема блока ПФ1.17 (а) и график

$$p_{вых} = \sqrt{0,08(p_{вх} - 0,02) + 0,02} \text{ (б):}$$

1—3 — повторители, 4, 6 — постоянные пневмосопротивления; 5, 7 — переменные пневмосопротивления, 8 — задатчик, 9 — элемент сравнения, 10 — усилитель

начинает работать элемент 2, сдвиг которого равен примерно 0,02 МПа, и, наконец, в момент достижения давлением значения 0,06 МПа открывается выпускное сопло повторителя 3 и начинается управление выходным давлением на третьем, последнем, участке аппроксимирующей ломаной. Угол наклона отрезков 0,04—0,06 и 0,06—0,1 МПа ломаной изменяется с помощью изменения проводимости переменных пневмосопротивлений 5 и 7, которыми устанавливается коэффициент передачи делителя.

Давление воздуха в коллекторе повторителей p_k подается на вход трехмембранного элемента сравнения 9, охваченного вместе с усилителем мощности 10 отрицательной обратной связью. Погрешность прибора при извлечении квадратного корня не выше 1 % от диапазона изменения входного сигнала.

§ 31. Блоки управления. Исполнительные устройства. Подготовка сжатого воздуха

Для переключения режимов работы пневматических АСР и выработки команд управления в ручном режиме применяют различного вида блоки и станции управления. С работой станции управления, встраиваемой во вторичные пневматические приборы, мы познакомились при рассмотрении принципа действия вторичного прибора (см. § 24).

Станции управления типа П12.2, применяемые для АСР с регуляторами выносного монтажа (рис. 96), позволяют переводить АСР в ручной или

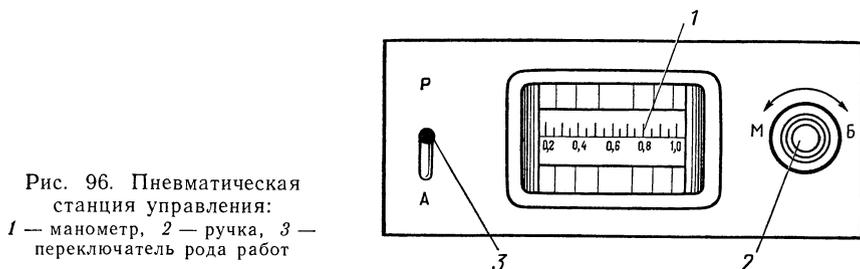


Рис. 96. Пневматическая станция управления:
1 — манометр, 2 — ручка, 3 — переключатель рода работ

автоматический режим. При переводе переключателя 3 в положение Р на штуцере командного сигнала появляется $p_k = p_{пит}$ и на выключающее реле (например, блока ПР3.31) подается команда на отключение АСР. Выход датчика 2 подключают к пневматической линии на исполнительный механизм и вращением ручки 2 датчика перемещают регулирующий орган. Давление на исполнительный механизм, соответствующее положению регулирующего органа, измеряют профильным манометром 1.

Станция может быть использована как датчик для АСР, для дистанционного управления соотношением физических величин и для введения в систему корректирующих сигналов смещения.

В пневматических системах наибольшее распространение имеют мембранные исполнительные механизмы (рис. 97), как правило, совмещенные с регулирующими органами. Сжатый воздух через штуцер 1 подается в головку 2 ИМ. Под действием давления воздуха мембрана 16 перемещает связанный с ней шток 5 до тех пор, пока усилие, приложенное

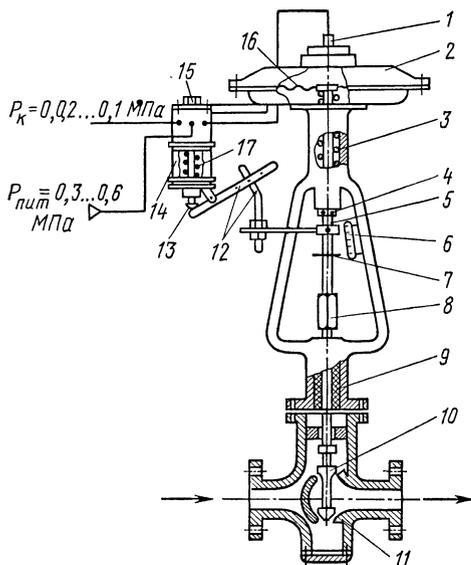


Рис. 97. Пневматический регулирующий клапан:

1 — штуцер, 2 — головка, 3, 17 — пружины, 4 — гайка, 5, 13 — штоки, 6 — шкала, 7 — указатель, 8 — муфта, 9 — сальник, 10 — плунжер, 11 — перегородка, 12 — рычаги, 14 — позиционер, 15 — редуцирующий пневмоклапан, 16 — мембрана

к ней, не уравновесится противоположно направленным усилием пружины 3. Начальное натяжение пружины регулируют гайкой 4. На штоке укреплен указатель 7, с помощью которого по шкале 6 можно определить степень открытия клапана. При управлении ИМ больших размеров или задатчика станции управления бывает недостаточно, чтобы создать достаточное усилие для точного пере-

мещения штока и обеспечить высокую скорость его перемещения.

Для повышения точности и быстродействия работы ИМ в системах управления используют усилители мощности — позиционеры 14. Позиционер подключают к сети сжатого воздуха 0,3—0,6 МПа. Командное давление от станции управления или регулирующего блока вызывает изменение давления на выходе позиционера. При перемещении ИМ через рычаги 12 усилие передается на шток 13 пружины 17 обратной связи позиционера. Давление в головке ИМ прекращает изменяться тогда, когда усилие, созданное командным давлением, уравновесится усилием, сжимающим пружину обратной связи. Исполнительный механизм укрепляют на корпусе регулирующего органа. Затвор клапана соединяют со штоком ИМ муфтой 8, которая позволяет изменять начальное положение плунжера 10 относительно седла. Для предотвращения просачивания среды через шток затвора ввод его в корпус клапана уплотняют сальником 9. Входной и выходной патрубки клапана разделены перегородкой 11 с отверстиями, профиль которых соответствует профилю затворов. При возвратно-поступательном движении затворы пересекают плоскость седла и площадь кольцевых зазоров между ними изменяется. При постоянном перепаде давления на регулирующем органе расход через него будет соответствовать взаимному положению седла и затворов.

Сжатый воздух от компрессоров или технологической сети воздухообеспечения непригоден для обеспечения надежной работы приборов и устройств пневмоавтоматики без предварительной обработки. В нем могут содержаться металлические частицы и пыль, а также машинное масло, уносимое потоком с рабочих поверхностей цилиндров, поршней и клапанов компрессоров. Влажность сжатого воздуха зависит от влажности наружного воздуха во всасывающей линии компрессора.

Твердые частицы или масло засоряют капилляры, нарушают плотность соединения «сопло-заслонка», в результате чего приборы пневмоавтоматики выходят из строя. Для очистки воздуха от твердых частиц применяют механические фильтры, содержащие пористые материалы: фетр, войлок, керамические пластины. Масло удаляют, пропуская воздух через сепараторы, маслоотделители, маслоотбойники. Использовать для питания осушенный воздух также недопустимо, так как атмосферный воздух — это смесь газов и водяного пара. При снижении температуры содержание влаги в воздухе увеличивается и при определенной для данной смеси температуре, называемой «точкой росы», может достигнуть 100 %. При этом влага с одинаковой вероятностью может находиться в жидкой и газообразной фазах. Поэтому при снижении температуры наружного воздуха в местах установки пневматических приборов или в зоне прокладки коллекторов и воздухопроводов влага выпадает на стенках труб и может или попасть в приборы и вывести их из строя, или замерзнуть, нарушив работу системы управления.

Для осушки сжатого воздуха применяют поглощающие влагу вещества (например, силикагель). В промышленных установках осушки очищенный воздух пропускают через резервуар, наполненный силикагелем. После такой осушки «точка росы» парогазовой смеси снижается до $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Требования к качеству сжатого воздуха для питания приборов и устройств пневмоавтоматики установлены ГОСТ 11882—73, в котором приведены предельно допустимые концентрации пыли и масла и влаги в воздухе, а также методы и средства измерения этих показателей.

Системы пневмоавтоматики могут стать неработоспособными в результате прекращения подачи электроэнергии на предприятие, аварии компрессора и других подобных причин. Для обеспечения работоспособности системы управления в системе воздухоснабжения предусматривают ресиверы — резервуары большого объема, подсоединенные параллельно питающей сети. При отключении компрессора сжатый воздух, накопленный в ресивере, в течение расчетного времени, зависящего от объема резервуара, обеспечивает работу пневматических систем.

Раздел третий

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ ПРОЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Глава XI

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОЕКТЕ

§ 32. Состав проекта

Проектом в капитальном строительстве называется совокупность текстовых материалов, расчетов, чертежей, необходимых для строительства и реконструкции новых заводов, цехов, установок, сооружений. Проект координирует деятельность многочисленных организаций и предприятий — изготовителей оборудования, участвующих в строительстве с целью получения конечного результата — ввода в действие в установленные сроки предприятия с заданными технико-экономическими характеристиками.

Проектом устанавливаются: перечень оборудования и взаимосвязи между отдельными агрегатами, взаимное расположение зданий и сооружений на промышленной площадке, порядок выполнения различных видов строительства, монтажных и специальных работ, стоимость строительства и т. д.

Проект, как правило, подразделяют на части, соответствующие видам строительного-монтажных работ: «Основное технологическое оборудование», «Электротехническое оборудование», «Контрольно-измерительные приборы и автоматика» и т. п. Выполняют проект с учетом требований строительных норм и правил (СНиП), ведомственных строительных норм (СН) и руководящих материалов (РМ), учитывающих конкретные особенности выполнения отдельных видов работ.

Для наладчиков приборов и систем автоматизации любой квалификации необходимо постоянное обращение к документам проекта. Поэтому изложение материала раздела ставит своей целью выработку у обучающихся навыков нахождения в рабочих чертежах и текстовых документах сведений, необходимых для производства работ, но не может служить пособием по основам проектирования систем автоматизации.

Основным документом, по которому проводят комплектацию, монтаж, наладку и эксплуатацию налаживаемых систем, является проект автоматизации. Отступления от проекта на любой стадии работ недопустимы без согласования с проектной организацией, выпустившей проект. Наладочные работы по приборам и системам автоматизации проводят по чертежам и схемам, которые входят в состав проекта.

Материалы проекта представляют собой комплект графических (чертежей и схем) и текстовых материалов, в которых с использованием условных обозначений и символов передается функциональное назначение каждого прибора и системы, определяются тип, место установки и способы соединения элементов (преобразователей, приборов, регуляторов) между собой, формируются требования к точности и надежности работы устройств.

На всех этапах проведения пусконаладочных работ наладчики имеют дело с проектной документацией, поэтому они должны уметь подобрать необходимые для работы документы, прочитать их содержание и использовать в работе. Совершенствование технологии производства, разработка и внедрение новых средств автоматизации обуславливают индивидуальный характер проекта автоматизации современных технологических процессов, поэтому даже опытные наладчики, работавшие на аналогичных предприятиях, должны тщательно ознакомиться с составом и содержанием проекта автоматизации.

Требования к порядку разработки, объему и технологическому содержанию проекта установлены в нормативном документе ВСН 281—75 «Временные указания по проектированию систем автоматизации технологических процессов», а правила и положения по разработке, оформлению и обращению конструкторских документов регламентируются стандартами Единой системы конструкторской документации (ЕСКД).

Проектную документацию на строительство новых, расширение, реконструкцию и техническое перевооружение действующих предприятий, зданий и сооружений отраслей народного хозяйства составляют в соответствии с положениями Инструкции о составе, порядке разработки, согласования и утверждения проектно-сметной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений (СН 202—81). Согласно Инструкции проекты разрабатывают в одну (при строительстве предприятий по типовым или повторно-применяемым проектам, а также для технически несложных объектов) или две (для крупных и сложных объектов строительства) стадии.

На первой стадии разрабатывают общую пояснительную записку, содержащую исходные данные для проектирования, технико-экономические обоснования, основные проектные решения по соблюдению требований правил, норм и государственных стандартов по взрыво- и пожарной безопасности, технике безопасности и охране труда, защите окружающей среды. В разделе «Технологические решения» отражают принципиальные решения по энергоснабжению предприятия, внутризаводскому транспорту, связи, вопросы компоновки оборудования, основные технические решения и характеристики выбранных для управления производством приборов, средств автоматизации или агрегатированных комплексов и основные требования к технологическому оборудованию, которые должны обеспечить возможность установки первичных измерительных преобразователей, регулирующих органов, предусмотреть строительство помещений для установки аппаратуры, эстакад для прокладки соединительных линий и т. п.

На второй стадии проектирующие организации разрабатывают *рабочие чертежи и текстовые материалы*.

§ 33. Назначение чертежей и текстовых материалов, используемых при пусконаладочных работах

Наладчикам необходимы следующие материалы, входящие в комплект рабочих чертежей:

структурные схемы управления и контроля;

функциональные схемы автоматизации технологических процессов; принципиальные схемы контроля, автоматического регулирования, управления и питания;

монтажные схемы щитов и пультов;

схемы внешних соединений;

пояснительная записка;

заказные спецификации.

Этим перечнем не ограничивается требуемая наладчикам проектная документация. В ряде случаев необходимы планы расположения средств автоматизации, общие виды щитов и пультов. Нередко приходится обращаться и к документам технологической части проекта: чертежам основного технологического оборудования, регламенту технологического процесса и т. п.

Структурные схемы поясняют принципы построения систем управления технологическими процессами и отражают связи между уровнями управления (оператор, диспетчер, главный инженер и т. п.). Пункты установки устройств получения информации, ее сбора, переработки и хранения на всех уровнях управления обозначаются на схемах прямоугольниками. Направление информационных потоков между пунктами и управляющих воздействий на схемах показывают стрелками, соединяющими прямоугольники. Структурные схемы просты в прочтении и дополнительных пояснений не требуют, выполняют их только для сложных систем управления.

Функциональные схемы содержат основные технические решения автоматизации технологических процессов. Прочтение этих схем дает представление о степени автоматизации, связях между технологическим процессом и различными по функциональному назначению системами автоматизации.

Принципиальные схемы выполняют по отдельным узлам автоматизации. Они содержат все элементы, из которых создан узел, и полное описание связей между ними.

Монтажные схемы показывают, как соединять между собой отдельные устройства, которыми укомплектовываются щиты, пульты, стивы преобразователей и т. п.

Схемы внешних соединений показывают, как выполнять трубные и электрические проводки, связывающие в систему устройства или группы устройств различного функционального назначения.

Пояснительная записка включает в себя описание автоматизируемого технологического процесса и характеристику его частей, сведения о рабочих средах и производственных помещениях (например, токсичность, агрессивность, пожаро- и взрывоопасность). Приводят описание структуры управления объектов, излагают сведения о работе систем автоматизации и новых или нестандартных приборах или изделиях. Как правило, к записке прилагают сводные перечни исходных данных и результатов расчета нестандартных сужающих устройств и регулирующих органов.

Заказные спецификации приборов и средств автоматизации содержат перечни измерительных преобразователей, приборов, регуляторов, функциональных блоков и устройств, поступающих комплектно с ними. В спецификации включают исполнительные устройства, регулирующие органы

и вспомогательные устройства, поступающие комплектно с оборудованием. По каждому прибору или устройству в спецификации имеются сведения об измеряемой среде и ее параметрах в нормальном режиме, о месте установки. В спецификации указывают наименование устройства, его тип и приводят техническую характеристику (диапазон измерения, назначение и т. п.).

Документы технологического проекта наладчики используют для получения сведений о месте установки прибора или преобразователя на технологических аппаратах или трубопроводах. На этих чертежах указывают наличие площадок обслуживания, размещение оборудования в плане и по вертикали помещения и т. п.

Регламент технологического процесса включает в себя такие сведения, как параметры контролируемых и регулируемых величин в нормальном режиме и предельно допустимые, правила и порядок пуска и останова агрегатов, последовательность срабатывания отключающих устройств при аварийных остановках и т. п.

§ 34. Условные обозначения на чертежах

Система условных графических изображений представляет собой совокупность символов — простейших геометрических фигур, линий и точек, которые в сочетании с буквенными выражениями и числами позволяют отобразить многообразие элементов систем автоматизации, каналы связи, соединяющие их, функциональное назначение каждого элемента.

Т а б л и ц а 5. Условные графические обозначения первичных преобразователей и отборных устройств

Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
Термопреобразователь сопротивления		Чувствительный элемент: поплавковый	
Термоэлектрический преобразователь		емкостного уровня	
Термобаллон газового (жидкостного) преобразователя		Преобразователь: физико-химических свойств	
Отбор давления		пьезометрический	
Сужающее устройство для измерения расхода		Сосуд: разделительный	
Преобразователь расхода электромагнитный		конденсационный	

В табл. 5 приведены условные обозначения некоторых наиболее часто встречающихся на практике отборных устройств и первичных измерительных преобразователей. Из таких обозначений строят и более сложные, например многозонный термопреобразователь сопротивления изображают с несколькими элементами.

Измерительные приборы, регулирующие блоки, многофункциональные устройства и передающие преобразователи обозначают на чертежах символами, приведенными в табл. 6. В верхней половине круга (квадрата),

Т а б л и ц а 6. Условные графические обозначения приборов, регуляторов и измерительных преобразователей

Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
Измерительный прибор (преобразователь)		Передающий преобразователь: электрический	
Регулятор или регулирующий блок		пневматический	
Измерительный прибор и регулятор в одном корпусе		Измерительный прибор с электрическим передающим преобразователем	

изображающего прибор, указывается физическая величина, для измерения (регулирования) которой он предназначен. Физическая величина указывается латинскими и греческими прописными и строчными буквами в соответствии с обозначениями, приведенными в табл. 7.

Т а б л и ц а 7. Обозначения измеряемых и регулируемых величин

Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
Температура	<i>t</i>	Плотность	ρ
Давление, вакуум	<i>P</i>	Концентрация	<i>C</i>
Расход и количество	<i>G</i>	Перемещение	<i>S</i>
Уровень	<i>H</i>	Вязкость	μ
		Разность (приращение)	Δ

В нижней части условного графического изображения указывают функциональные признаки прибора или регулятора, например наличие регистрации или интегрирования значений величины, закон регулирования и т. п. Функциональные признаки обозначают буквенными сочетаниями (табл. 8).

Примеры условных графических изображений приборов и регуляторов приведены на рис. 98.

Для изображения на чертежах исполнительных устройств применяют обозначения, приведенные в табл. 9. Пользуясь таблицей, можно определить вид регулирующего органа, изображенного на схеме, тип исполни-

Т а б л и ц а 8. Буквенные обозначения функциональных признаков прибора и регулятора

Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
Показывающий	П	Статический (пропорциональный)	С
Регистрирующий	С	Изодромный или ПИ	Из
Интегрирующий	И	Дифференцирующий	Дф
Суммирующий (блок)	См	Позиционный	Пз
Преобразующий	Пр	Регулирующий соотношение	Со
Усиливающий	Ус	Задающий	Зд

Т а б л и ц а 9. Условные графические обозначения регулирующих органов и исполнительных механизмов

Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
Заслонка регулирующая		Исполнительный механизм: поршневой	
Клапан регулирующий		мембранный	
» трехходовой		электромагнитный с электроприводом	

тельного механизма и вид используемой энергии. Для электрических механизмов в кружке, обозначающем привод, показывают род используемого тока.

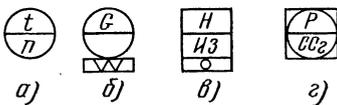


Рис. 98. Примеры условных графических изображений:

а — прибор для измерения температуры, *б* — измерительный преобразователь расхода с электрическим выходом, *в* — ПИ-регулятор уровня, *г* — П-регулятор давления приборного типа

Для изображения элементов электрических принципиальных схем используют условные графические обозначения (табл. 10). Кроме указанных в таблице применяют также широко известные условные изображения радиодеталей, таких, как резисторы, диоды, триоды, конденсаторы, а также электротехнических устройств — трансформаторов, электродвигателей и т. п.

Каналы связи между устройствами автоматики изображают в виде сплошных линий, соединяющих их. Технологические аппараты на схемах автоматизации изображают упрощенными символами, которые обычно повторяют контуры машин, агрегатов и т. п. Трубопроводы, транспортирующие среды от аппарата к аппарату, также изображают в виде линий, а их пересечения обозначают точкой. Стрелки, указывающие направление потоков жидкостей, выполняют зачерненными, газов — контуром тре-

Таблица 10. Условные графические обозначения элементов электрических схем (по ГОСТ 2.756—76)

Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
Катушка реле или электро-механического устрой-ва		Размыкающий с замедли-телем: при срабатывании при отпускании	
Катушка реле: двухобмоточного		при срабатывании и отпускании	
поляризованного		Выключатель кнопочный	
с задержкой при сра-батывании		Разъединитель трехполюс-ный	
с замедлением при от-пускании		Соединение: разборное	
Контакт: замыкающий размыкающий		неразборное разъемное	
замыкающий с замедлите-лем: при срабатывании		Переключатель многопо-зиционный	
при отпускании		Лампа сигнальная	
при срабатывании и отпускании			

угольника. В разрывах трубопроводов для сложных технологических процессов иногда проставляют числа, характеризующие транспортируемую по трубопроводу среду: вода — 1, пар — 2, воздух — 3, кислород — 5, с 6 до 10 — инертные газы. Нефте- и бензинопроводы обозначают числом 15, а трубопроводы, по которым транспортируют горючие газы, — от 16 до 25 (в зависимости от вида газа).

Для изображения на чертежах схем, выполненных на логических элементах, применяют обозначения, приведенные в табл. 14. Для простых элементов их изображение содержит одно поле прямоугольной формы, в котором указывают с помощью условных изображений функциональное назначение элемента, его тип по номенклатурному перечню, другие поясняющие данные. В тех случаях, когда необходимо указать номер подключаемой внешней цепи, характеристику входного или выходного сигнала, эти данные помещают на дополнительных полях.

Буквенно-цифровые обозначения в электрических схемах изображают в соответствии с ГОСТ 2.710—81. Стандарт вводит обязательные буквенные коды для наиболее распространенных групп элементов электрических схем. Конденсаторы, резисторы и полупроводниковые приборы на схемах и в текстовых материалах должны иметь буквенный код соответственно *C*, *R* и *V*. Реле, контакторы и пускатели

Т а б л и ц а 11. Условные обозначения элементов логических схем (по ГОСТ 2.743—82)

Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
Элемент логический		ИЛИ	
С дополнительными полями		И	
Повторитель		Элемент с задержкой времени	
НЕ (инвертор)		Пороговый элемент (формирователь импульсов)	

обозначают кодом *K*, а сигнальные устройства — *H*. После кода устройства указывают порядковый номер (позицию) устройства на чертеже. Например: *V5* — пятый полупроводниковый элемент, а *H7* — седьмая сигнальная лампа.

Если на чертеже изображается несколько видов элементов, входящих в группу, например полупроводниковые диоды, транзисторы, стабилитроны, то для изображения применяют двухбуквенные коды. Так, диодам и стабилитронам присваивается код *VD*, транзисторам — *VT*. Звуковое сигнальное устройство обозначают кодом *HA*, а сигнальную лампу — *HL*.

Для обозначения выключателей и разъединителей используют код *Q*, а для коммутационных устройств (кнопок, переключателей, встроенных контактных групп) — *S*. Контакты электромеханических реле обозначают следующим образом: указывают код реле, его позиционный номер и через двоеточие — номер контактной группы, которой принадлежит контакт. Например, обозначение *KT2:3* обозначает, что речь идет о третьей контактной группе второго реле времени на данной схеме.

Кроме приведенных условных изображений, предусмотренных ГОСТами, при составлении проектов автоматизации широко применяют отраслевой стандарт «Обозначения условные в схемах автоматизации технологических процессов» (ОСТ 36-27—77). Согласно ОСТ приборы и средства автоматизации, устанавливаемые на технологическом оборудовании, на схемах изображают в виде круга диаметром 10 мм. Для обозначения приборов, устанавливаемых на щитах, круг делят пополам горизонтальной чертой (см. рис. 98, *a*). В круге изображают позиционное обозначение устройства, которое формируется по следующему правилу: буква, соответствующая коду измеряемой величины, буква, уточняющая измеряемую величину (при необходимости), далее — коды функциональных признаков устройств.

Для основных физических величин приняты следующие коды: расход *F*, уровень *L*; давление *p*; качество, состав, концентрация — *Q* и т. п. Для обозначения функциональных признаков устройств приняты коды: сигнализация *A*; индикация (показание) *I*; регулирование *C*; регистрация *R*. Дополнительно функциональные признаки могут быть уточнены следующими обозначениями: первичный преобразователь *E*, передающий *T*, станция управления *H*, вычислительная операция *U*. Эти буквы замыкают условное обозначение устройства.

Рядом с графическим изображением устройства на чертежах могут быть нанесены дополнительные символы, характеризующие род энергии сигнала (*E* — электрический, *p* — пневматический), операцию, выполняемую вычислительным устройством (*k* — умножение сигнала, *fⁿ* — возведение в степень, *:* — деление 2 сигналов и т. п.).

Например, условное обозначение устройства *LICA-7, в* (ОСТ 36-27—77) означает, что на позиции 7, *в* установлен уровнемер *L* со шкалой для отсчета значения уровня жидкости *I*, в который встроен автоматический регулятор *C*, дополнительно уровнемер имеет сигнальное устройство *A*, которое срабатывает при достижении уровнем предельного значения (значений). Обозначения *TE-1, а* применяют для первичного преобразователя температуры, а *PT-2, б* — для промежуточного преобразователя давления.

Глава XII

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ И ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ СХЕМЫ

§ 35. Функциональные схемы

Функциональные схемы проектов автоматизации представляют собой символическое изображение аппаратов и агрегатов технологического процесса и трубопроводов, соединяющих их. На них устанавливают связи между технологическим оборудованием и элементами систем автоматизации. Функциональные схемы несложных процессов выполняют на одном листе, сложные установки разбивают на отдельные узлы, для которых выполняют схемы на отдельных листах.

Изображение приборов и средств автоматизации на функциональной схеме может быть развернутым, упрощенным или комбинированным.

При *развернутом* изображении каждое устройство, входящее в комплект системы, показывают отдельным графическим изображением. Рассмотрим функциональную схему АСР температуры котла сульфитной варки целлюлозы. При развернутом изображении (рис. 99, *а*) на схеме

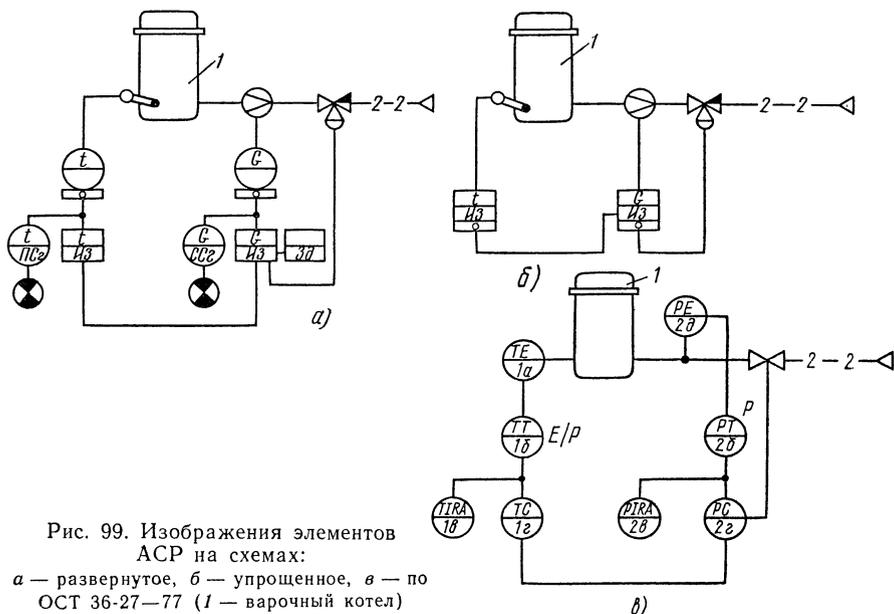


Рис. 99. Изображения элементов АСР на схемах:

а — развернутое, *б* — упрощенное, *в* — по ОСТ 36-27—77 (*1* — варочный котел)

изображены измерительные преобразователи температуры и расхода, два регулятора, задающие устройства и сигнальные лампы.

Типовые повторяющиеся системы обычно показывают укрупненными узлами в упрощенном изображении (рис. 99, б). В этом случае схема говорит о том, что для регулирования температуры в котле применена каскадная АСР, состоящая из стабилизирующего регулятора расхода и корректирующего — температуры, а для автоматизации применена пневматическая аппаратура.

При изображении той же схемы с применением обозначений по ОСТ 36-27—77 (рис. 99, в) термопреобразователь и диафрагму обозначают соответственно *TE* и *PE*. Рядом с условным изображением нормирующего пневматического преобразователя температуры *TT* (п. 1, б) ставят знак *E/P*, который поясняет, что э. д. с. термопары преобразуется в унифицированный пневматический сигнал. Приборы *TIRA* (п. 1, в) и *PIRA* (п. 2, в) — вторичные пневматические показывающие и регистрирующие приборы со встроенными сигнальными устройствами, которые, так же как и регуляторы температуры (*TC*) и расхода (*PC*), установлены на щите оператора.

Комбинированное изображение применяют, когда наряду с простыми системами проектом предусмотрены сложные разветвленные. В этом случае основную массу систем изображают упрощенно, а наиболее сложные узлы — развернуто.

Как правило, на функциональной схеме помещения преобразователей, щиты операторов, диспетчера и т. п. изображают в виде прямоугольников, расположенных в нижней части чертежа (рис. 100). Комплекту аппаратуры, образующую локальную систему, присваивают порядковый номер, а каждому элементу системы — буквенный индекс (например, *a*, *б*, *в*). Полное обозначение элемента при таком способе имеет вид 7б, 5а и т. п. Иногда перед обозначением ставят букву п (позиция), например п. 7б. На соединительных линиях между отборными устройствами и преобразователями указывают значение измеряемой или регулируемой величины при нормальном технологическом режиме.

Рассмотрим выполнение функциональной схемы автоматизации узла адсорбции (рис. 100, а). В адсорбер нагнетателем по трубопроводу газа 20 подают газовую смесь, которая, барботируя (пробулькывая) через жидкость, поступает в головку аппарата. Навстречу газовому потоку по трубопроводу 1 подают холодную воду, которая поглощает растворимые компоненты газовой смеси. Инертные газы по трубопроводу 6 направляются на переработку, а жидкая фаза по мере накопления удаляется на склад жидких продуктов. Как видно из рисунка, проектом предусмотрено измерение расходов газа, воды и продукта (позиции 2, 6 и 7) и контроль давления воды после нагнетателя и в линии инертных газов (позиции 1 и 5). Для измерения температуры в зоне поглощения применены многозонный термопреобразователь и измерительный комплект (позиция 3). Для регулирования постоянного уровня применена АСР уровня (позиция 4).

Как видно из схемы, измерительные преобразователи, преобразующие значения физических величин в унифицированный электрический сигнал, расположены возле мест отборов, вторичные приборы, регуляторы и сигнальные устройства — на щите оператора. Такой способ изображения применяют для составления схем простых технологических процессов.

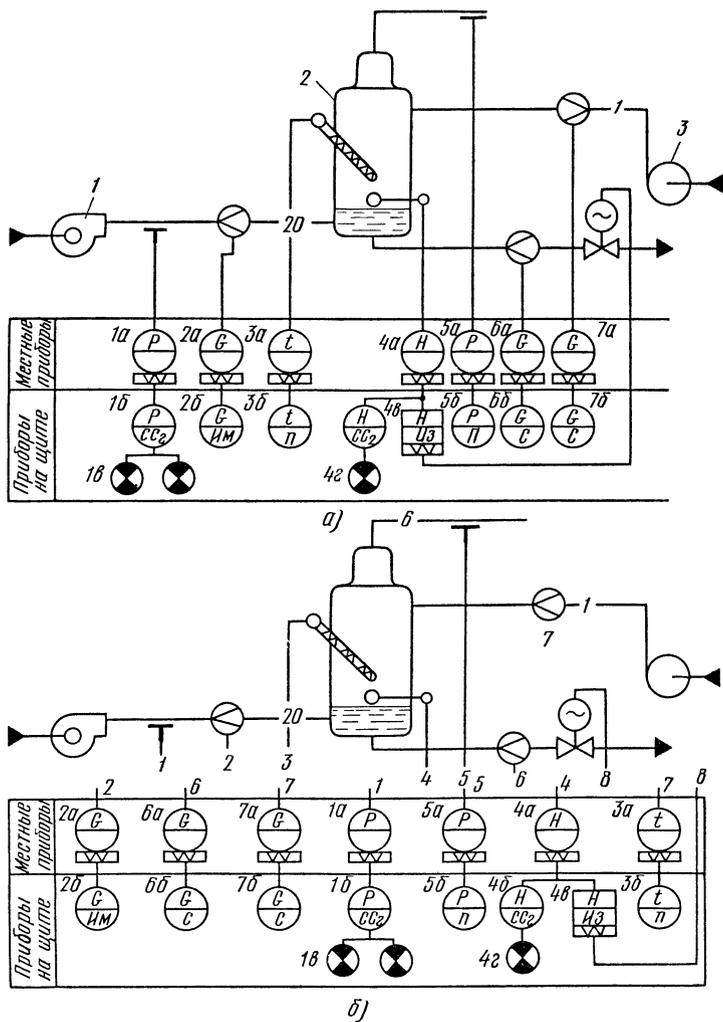


Рис. 100. Функциональная схема автоматизации узла адсорбции (а) и пример ее выполнения с разрывом линий связи (б):
 1 — нагнетатель, 2 — адсорбер, 3 — насос

При сложных и связанных системах автоматизации такие схемы трудно читать из-за большого числа скрещивающихся линий и трудно оценить объем работ по видам систем (например, определить общее число систем расхода, давления и т. п.). Поэтому применяют изображения, где линии связи разорваны и пронумерованы (рис. 100, б). В этом случае приборы и регуляторы можно сгруппировать по назначению, как это сделано на рисунке, и сделать чертеж более читаемым.

§ 36. Принципиальные электрические схемы

На принципиальных электрических схемах все аппараты (реле, пускатели, переключатели) обычно изображают в невключенном положении. Если за исходное выбирают другое (например, включенное положение), то это специально оговаривают на чертеже. Средства автоматизации изображают на чертежах с помощью условных графических изображений так, чтобы отдельные элементы цепи были изображены в последовательности, отражающей их работу, а сами цепи располагались по вертикали друг под другом.

Принципиальная электрическая схема управления (рис. 101). Рассмотрим схему управления двигателем насоса, откачивающего воду из емкости. Все элементы рассматриваемой схемы имеют позиционные условные обозначения, которые строят по ГОСТ 2.710—81. Устройствам присвоены одно- или двухбуквенные коды. Например, кнопкам — *SB*, пускателям — *KM*, лампам — *H*, а контактам реле верхнего и нижнего уровней — *S*.

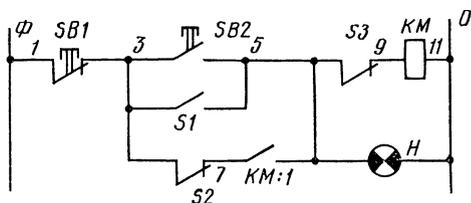


Рис. 101. Принципиальная электрическая схема управления двигателем насоса

Соединительные провода обозначены арабскими цифрами, при этом номера проводов, имеющих общую точку, одинаковы. Так, кнопка *SB1* соединена с *SB2*, *S1* и *S2* проводами, обозначенными цифрой 3. Учитывая изложенное, легко прочесть принципиальную схему.

Магнитный пускатель *KM* может быть возбужден при нажатии кнопки *SB2* (ручное управление) или при возбуждении реле верхнего уровня (на чертеже показан только его замыкающий контакт *S1*). *KM* через размыкающий контакт *S2* и собственный *KM:1* блокируется. Насос начнет откачивать воду. Выключится насос при нажатии кнопки останова *SB1* или при снижении уровня жидкости до нижней границы (возбудится реле *S2*). При перегрузке двигателя насоса срабатывает расцепитель тепловой защиты, размыкающий контакт которого *S3* включен в цепь возбуждения магнитного пускателя, и подача напряжения на катушку *KM* будет прекращена.

Схемы защиты и пуска котельной установки (рис. 102), принцип работы которой был рассмотрен в § 4 и 25, построены на стандартных логических элементах И, ИЛИ и НЕ. Для разрешения розжига котла на вход элемента И должны поступить логические единичные сигналы от контакта вентилятора (с задержкой времени), от фотореле запального устройства и сигнал от сигнального устройства, встроенного во вторичный прибор системы измерения давления. Поскольку при нормальном давлении газа контакт сигнального устройства разомкнут, в цепь включен элемент НЕ (*W1*), который формирует на выходе логическую 1 при отсутстви

го сигнала. При выполнении этих операций на выходе $V1$ появляется логический сигнал, подаваемый на вход $V2$. Чтобы на выходе $V2$ появился сигнал для открытия отсекателя, на входе x_1 также должен быть единичный сигнал, формирующийся с помощью элемента ИЛИ, на входы которого подключены контакты сигнализаторов уровня H_B , давления воды $p_{пв}$, разрежения Δp_p и давления воздуха $p_в$. При нормальной работе установки на этих входах существует нулевой сигнал, кроме входа по давлению воздуха, который инвертируется элементом $W2$. Так как в нормальном режиме на входе ИЛИ сигналов нет, а для включения $V2$ требуется логическая единица, в схему введен инвертор $W3$.

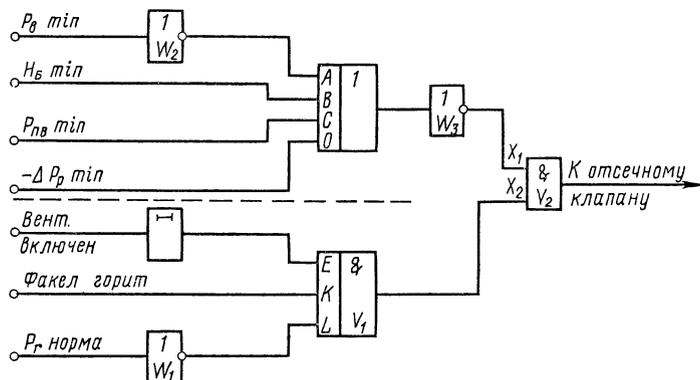


Рис. 102. Принципиальная логическая схема управления клапаном-отсекателем котельной установки

Согласно схеме при любом событии, свидетельствующем о выходе режима установки за допустимые пределы, управляющий сигнал исчезает и клапан-отсекатель перекрывает линию подачи газа на горение.

Принципиальная электрическая схема АСР. Регулирующие блоки и устройства показывают на чертежах в виде прямоугольников. В контуре помещают название блока или устройства, а на линиях контура размещают зажимы или разъемы, к которым подводятся внешние проводки, обеспечивающие совместную работу элементов систем.

Электрические схемы блоков, представляющие готовые изделия, на чертежах не показывают, однако допускается приводить элементы схем или схемы полностью, если это необходимо для облегчения чтения схемы АСР. Электрические провода на схемах маркируют арабскими цифрами.

Схему АСР с блоком P25 (рис. 103) легко прочитать, зная принцип действия и устройство составляющих элементов. Значение регулируемой температуры от преобразователей TC1 и TC2 поступает на вход блока P25, который в зависимости от рассогласования этого значения с заданным формирует управляющее воздействие (± 24 В) в соответствии с ПИ-законом регулирования. Управляющий сигнал в автоматическом режиме с зажимов 9 и 7 блока P25 подается на зажимы 4 и 8 БУ21 и далее через зажимы 2 и 6 БУ21 и закрытые контакты конечных выключателей SQ2 и SQ3 поступает на зажимы 2 и 6 магнитного пускателя МКР. В зависимости от полярности управляющего сигнала на выход C1 поступает

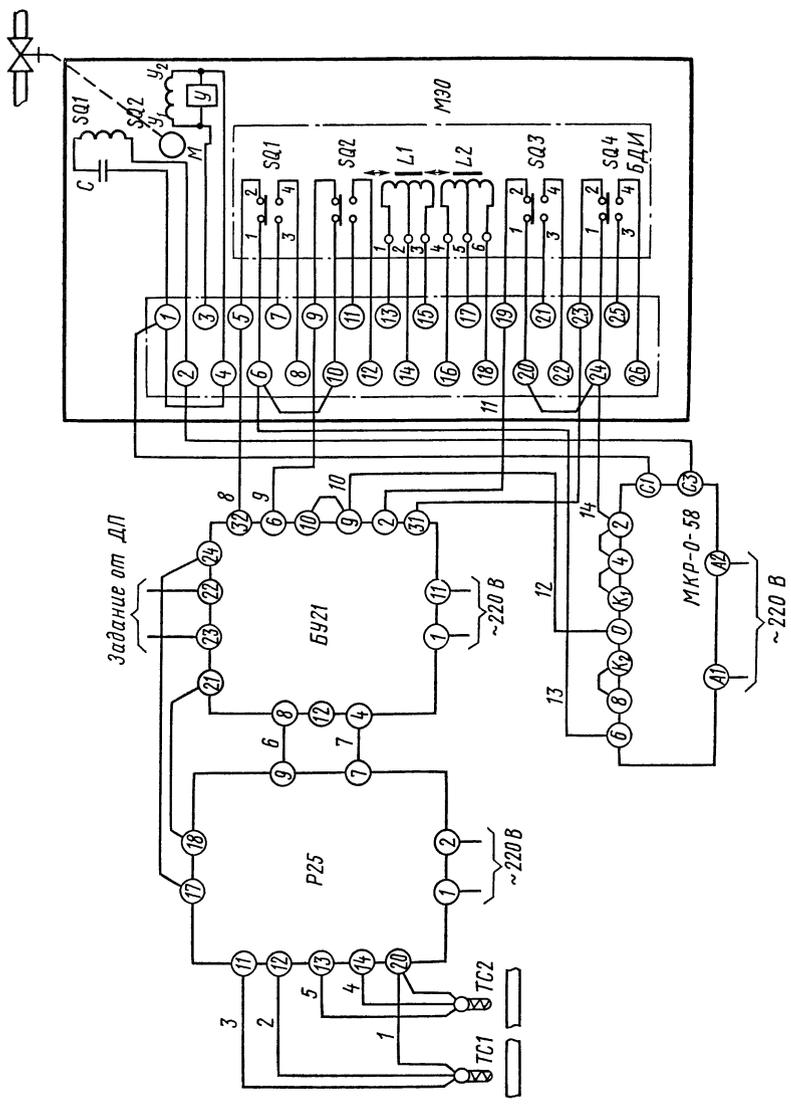


Рис. 103. Принципиальная электрическая схема АСР с регулятором P25

фаза или 0, а на выход $C3-0$ или фаза, которые обеспечивают вращение двигателя МЭО в требуемом направлении. Если переключатель блока БУ21 находится в положении Р, катушки пускателей управляются кнопками этого блока. Сигнал на катушки поступает с зажимов 31 и 32 БУ21 через замкнутые контакты конечных выключателей SQ1 и SQ4. Если переключатель находится в положении В, то АСР работает в режиме внешнего задания. В этом случае сигнал с диспетчерского пункта (зажимы 23 и 22) через контакты переключателя поступает на зажимы 17 и 18 блока Р25.

При составлении принципиальных схем АСР с блоками АКЭСР в контуры устройств, как правило, помещают условные изображения модулей, работа которых предусмотрена по проекту.

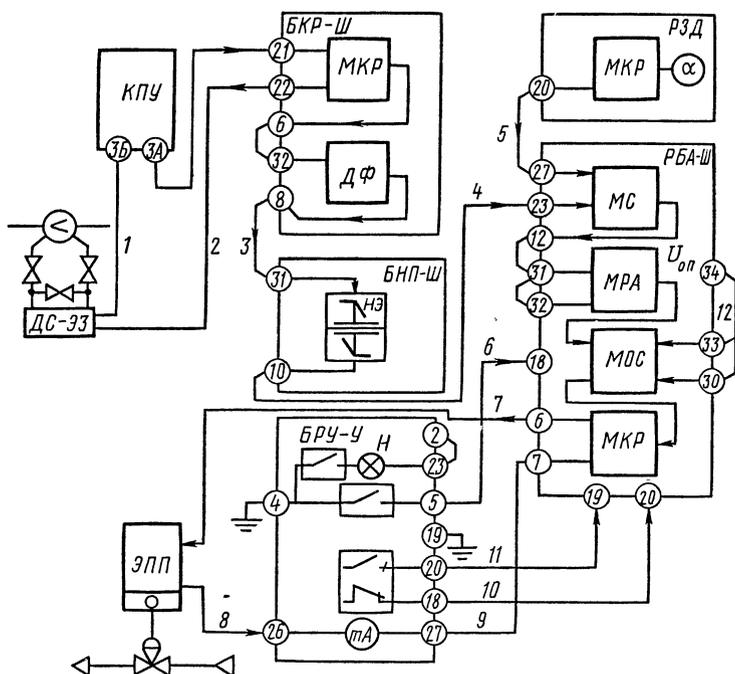


Рис. 104. Принципиальная электрическая схема АСР с блоками АКЭСР

В автоматическом режиме (рис. 104) электрический сигнал от диффометра расходомера ДС-ЭЗ поступает последовательно на вход миллиамперметра КПУ и на зажимы 21 и 22 блока БКР. Гальванически разделенный информационный сигнал в виде напряжения постоянного тока (0—10 В) с зажима 6 поступает на вход 32 канала динамических преобразований ДФ того же блока, где фильтруется от высокочастотных помех. С выхода 8 демпфированный сигнал по проводнику 3 подается на вход блока нелинейных преобразований БНП для линеаризации, так как зависимость перепада на диафрагме ДС-ЭЗ от расхода квадратичная. После

извлечения корня по проводнику 4 сигнал поступает на вход (зажим 23) блока РБА. Как видно из схемы, каналы суммирования БКР1 и БНП в работе АСР не участвуют.

На вход РБА от задатчика РЗД подается также напряжение, пропорциональное заданному значению расхода. Сигнал отклонения формируется на узле МС (расположен на плате МОС). Через зажимы 12, 31 и 32 этот сигнал поступает на аналоговый регулирующий модуль МРА, который формирует управляющий сигнал в соответствии с ПИД-законом регулирования. После ограничения и гальванического разделения с зажимов 6 и 7 управляющий сигнал постоянного тока по проводнику 7 поступает на вход электропневмопреобразователя ЭПП. Цепь сигнала замыкается через зажимы 26 и 27 блока БРУ-У, между которыми подключен измерительный прибор МА, служащий указателем положения ИМ.

В ручном режиме управления по проводнику 6 подается команда на включение реле (см. рис. 80), которое своими контактами соединяет инвертирующий вход усилителя И с общей точкой, а на неинвертирующий вход при нажатии кнопок Б или М БРУ-У поступает напряжение смещения. При работе в ручном режиме на БРУ-У (рис. 104) горит лампа Н.

С выхода электропневмопреобразователя давление сжатого воздуха, пропорциональное значению управляющего тока, поступает в головку мембранного исполнительного механизма, который перемещает затвор регулирующего клапана.

§ 37. Принципиальные пневматические схемы

На принципиальных пневматических схемах устройства и приборы обозначают в виде прямоугольников. На контуры прямоугольников в кружках помещают номера штуцеров, к которым подсоединяют внешние трубные проводки. Номера штуцеров маркируют арабскими цифрами, номера штуцеров для подключения контрольных манометров — индексами 1—1, 1—2 и т. п.

Трубным проводкам, соединяющим приборы и устройства, присваивают порядковые номера, и для отличия их от электрических перед номером ставят цифру 0. Номер проводки помещают в кружок, располагаемый в разрезе линии. Устройства обозначают буквами аналогично рассмотренному в предыдущем параграфе.

Рассмотрим принципиальную схему сложной пневматической АСР (рис. 105). С помощью диафрагм расходы сред в трубопроводах 1 и 20 измеряются дифференциальными преобразователями расхода ИП (типа ДС-ПЗ). Измеряемая температура преобразуется в унифицированный пневматический сигнал преобразователем ИПЗ (типа ТДГ-П). По трубным проводкам 01, 02 и 03 пневматические сигналы передаются на функциональные блоки. Зависимость перепада от расхода нелинейная, поэтому для извлечения квадратного корня из пневматического сигнала применены устройства извлечения квадратного корня типа ПФ1.17. Сигнал, пропорциональный измеряемой температуре, умножается (масштабируется) на постоянный коэффициент в блоке ПФ1.9. АСР может работать как одноконтурная система стабилизации расхода в режиме А вторичного прибора ПВ10.1Э. При этом значение расхода, переданное на прибор по

построения системы, а также места и типы соединений проводов, их длина и маркировка.

Для соединения пневматических и гидравлических приборов и устройств применяют трубные проводки: стальные, медные или пластмассовые трубы, а также многотрубные пневматические кабели. Отборные устройства с измерительными преобразователями соединяют стальными бесшовными трубами, а линии для передачи информации в унифицированном виде — пластмассовыми трубами или пневмокабелем. Обычно пункт управления и измерительные преобразователи, установленные по месту на аппаратах с высокой степенью автоматизации, соединяют пневмокабелем, позволяющим организовать до двенадцати каналов связи. К отдельным группам приборов от такого кабеля, называемого магистральным, отводят кабели с меньшим числом труб, а трубки к отдельным приборам подсоединяют индивидуальными проводками. Переходы между кабелями с различным числом труб и разветвления каналов выполняют с помощью соединительных коробок. Оконечными устройствами кабельных проводков являются переборочные соединения, представляющие собой наборы резьбовых соединителей.

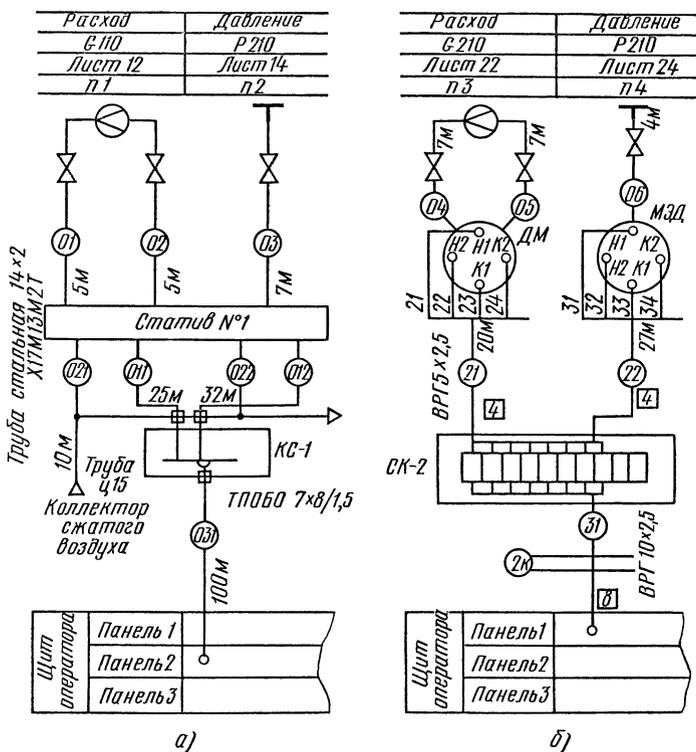


Рис. 106. Пример выполнения схемы внешних соединений пневматических (а) и электрических (б) проводок

Трубные проводки (рис. 106, а). На чертеже изображают отборное устройство (диафрагму или отбор давления), а над ним располагают таблицу, в верхней строке которой указывают наименование физической величины, во второй — ее условное обозначение (см. табл. 7) и номер трубопровода или аппарата (по технологическим чертежам), где будет установлен первичный измерительный преобразователь или отборное устройство. Например, измеряют расход (условное обозначение *G*), а диафрагма установлена на 110-м технологическом трубопроводе. В третьей строке помещают номер чертежа, по которому эта диафрагма должна быть смонтирована, в последней — позицию системы автоматизации по проекту.

Трубные проводки от диафрагмы показывают сплошными линиями, в разрыв которых помещают условное обозначение запорной арматуры (например, вентилей) и кружки с номером проводки (01, 02 и т. д.) Возле каждой проводки указывают ее длину в метрах, материал и диаметр трубки. Как видно из рисунка, трубные проводки 01—06 выполнены трубами из нержавеющей стали длиной 5 или 7 м и диаметром 14 мм с толщиной стенок 2 мм (сталь X17M13M2T 14×2). Далее указывают измерительные преобразователи или стивы для их групповой установки. Из чертежа видно, что к стиву № 1 подсоединены 4 проводки: две (021 и 022) подводят к устройствам сжатый воздух, а две (011 и 012) соединяют стив с коробкой КС-1, от которой информация передается к щиту оператора по пневмокабелю 031 типа ТПОБО 7×8×1,6 длиной 100 м.

Если щит оператора многопанельный, то графически показывают число панелей и номер панели, к которой подключают кабель.

Электрические проводки (рис. 106, б). Дифманометр ДМ и манометр МЭД установлены индивидуально. Жилы кабеля ВРГ 5×2,5 пронумерованы числами 21—24 и подсоединены к выводам дифтрансформатора в соответствии с инструкцией. Кабели 21 и 22 подведены к соединительной коробке СК-2, от которой десятижильным кабелем 31 длиной 110 м информация передается на панель 1 пульта оператора. В квадрате рядом с кабелем указано число рабочих жил: для кабеля 21 — число жил 4, а для 31—8. Разрыв кабеля параллельными прямыми показывает, что кабель проложен в защитном коробе 2к.

Наряду с рассмотренным графическим методом широко применяют табличные способы. При выполнении чертежей таким способом на них не указывают отборные устройства и измерительные преобразователи.

Табличный способ изображения внешних соединений рассмотрим на примере комбинированных (трубных и электрических) проводок (рис. 107). Электрические проводки в отличие от трубных не имеют перед номером цифры 0. Иногда после номера трубной проводки ставят букву П, а электрической — букву А. Например, 12А — электрическая проводка. Верхние четыре строки таблицы содержат ту же информацию, что в предыдущем случае (см. рис. 106). В последующих строках (1...9) располагают следующую информацию:

1. Исполнение схем трубных соединений в соответствии с типовыми конструктивами ТК;

2 и 3. Тип и число арматуры, входящей в комплект (в данном случае — два запорных вентиля).

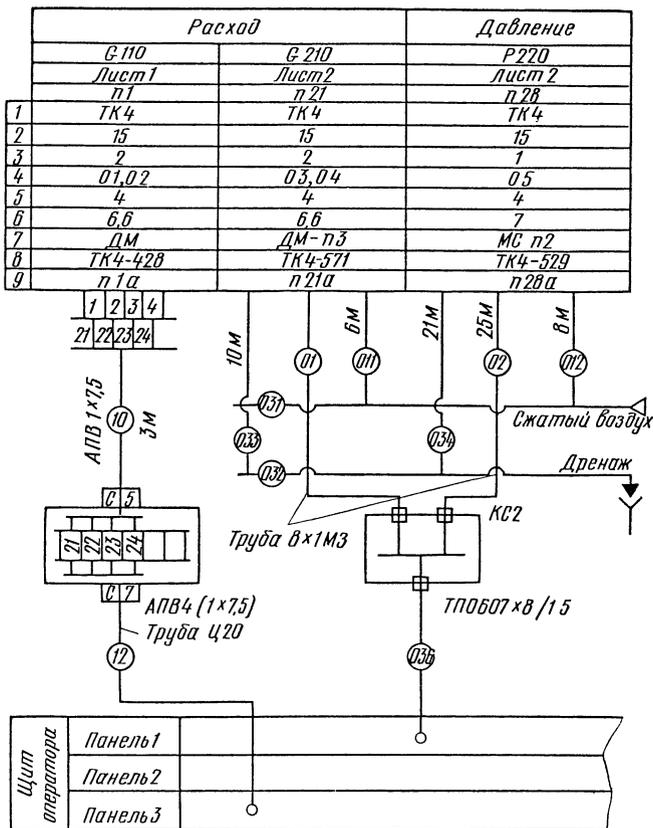


Рис. 107. Табличный способ изображения внешних соединений

4. Номера трубных проводок, соединяющих отборное устройство и преобразователь.

5 и 6. Тип (сортамент) трубы и ее длина.

7 и 8. Тип измерительного преобразователя (ДМ, ДМ-ПЗ и т. п.) и типовые конструктивы (ТК), по которым он должен быть смонтирован.

9. Номер позиции элемента по функциональной схеме (п1а, п21а и т. п.).

§ 39. Монтажные чертежи и схемы щитов и пультов

Монтажные чертежи и схемы показывают взаимное расположение приборов и устройств на щитах и пультах и их взаимосвязь. Тип и назначение приборов и устройств, расположенных на щитах и пультах, графически изображают на чертежах общих видов. На них указывается взаимное расположение аппаратуры и органов управления. Элементы имеют позиционные обозначения, которые расшифровываются в таблицах, располагаемых над наименованием чертежа. Чертежи общих видов выполняют в масштабе.

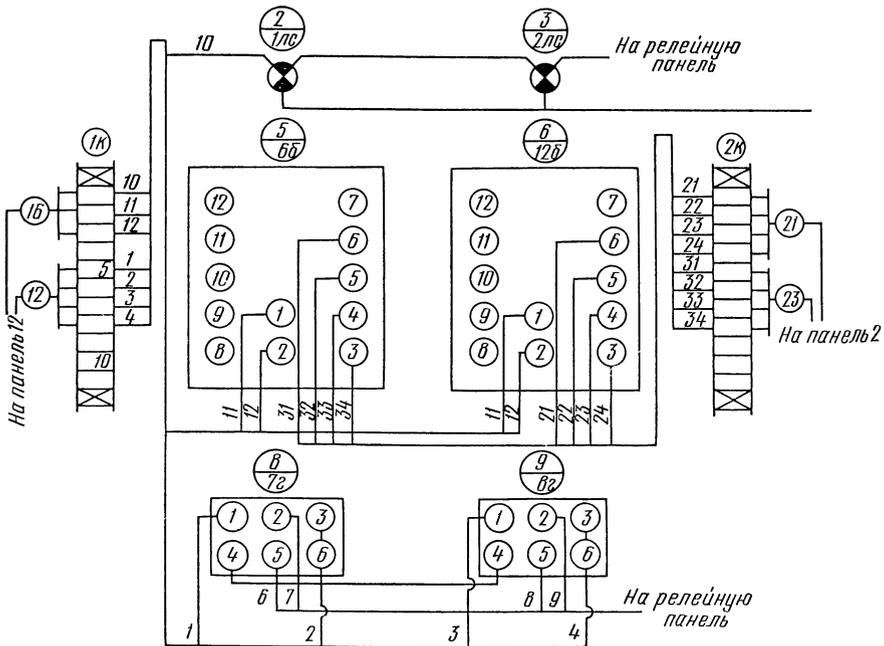


Рис. 108. Пример выполнения монтажной схемы щита

В отличие от чертежей общих видов монтажные схемы щитов и пультов выполняют без соблюдения масштабов. На схеме (рис. 108), составленной графическим способом, изображают контуры установленных устройств и присоединительные детали (вид со стороны монтажа). Зажимам и штуцерам присваивают номера в соответствии с заводской маркировкой. Каждому устройству, размещенному на щите, присваивают порядковый номер, который изображают в верхней половине круга, расположенного над устройством, в нижней половине указывают позицию по проекту автоматизации. Например, приборы на чертеже имеют порядковые номера 5 и 6 и позиции по проекту 66 и 126.

Для связи со схемами внешних соединений изображают сборки зажимов (1К, 2К), к которым подводят электрические проводки с указанием их номеров по схеме внешних соединений (12 и 16). Провода, отходящие от каждого зажима, имеют номер, соответствующий принципиальной схеме. Отдельные провода показывают на схеме тонкими линиями. Связь между сборками и устройствами осуществляют жгутами проводов, которые на чертежах обозначают сплошными жирными линиями. Провода, соединяющие жгут с приборами и устройствами, маркируют и изображают тонкими линиями (31—34).

Если приборы и устройства, относящиеся к одной системе измерения или регулирования, расположены на разных панелях, жгуты, соединяющие эти устройства, обрывают и у места обрыва указывают адрес (в данном случае — на релейную панель, на панель 12 и т. п.). Если по

техническим условиям на аппаратуру прокладка проводок в жгутах недопустима (например, компенсационные провода), то такие проводки на схеме изображают пунктиром.

Для сложных схем применяют адресный способ выполнения. В этом случае группы проводов, соединяющих сборку зажимов с каким-либо устройством, обрывают, объединяют фигурной скобкой и пишут адрес — номер устройства на щите (6). Ответный адрес (например, 2к) пишут на группе проводов, отходящих от устройства 6 (21—24) к сборке зажимов 2к.

Табличным способом выполняют схемы сложных, насыщенных устройствами щитов и пультов. При этом способе приборы, устройства, сборки зажимов на чертежах не показывают. В таблице указывают номер кабеля, номер проводки по принципиальной схеме, зажим сборки и устройства, соединяемые проводкой, номер панели, на которую входит провод.

Схемы трубных проводок щитов, пультов и статов практически строятся по тем же правилам.

Раздел четвертый

НАЛАДКА ПРИБОРОВ, УСТРОЙСТВ И СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ, РЕГУЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ

Для приборостроительной промышленности на современном этапе характерны более высокие, по сравнению с другими отраслями, темпы развития. Постоянно изменяется номенклатура выпускаемых изделий, совершенствуются их технические характеристики, разрабатываются и внедряются принципиально новые элементы, устройства, агрегатированные комплексы. Такое положение вызывает определенные трудности при подготовке наладчиков, поскольку, окончив обучение, на производстве они могут столкнуться с конкретными приборами и системами, изучение наладки которых не предусматривалось программой. Поэтому в процессе обучения необходимо получить такие знания и навыки, которые позволили бы в кратчайшие сроки осваивать новую технику и методы ее наладки.

Эти обстоятельства обусловили порядок изложения материала в этом разделе, который начинается описанием технического содержания и стадий работ, общих для систем автоматизации любого назначения. Далее для каждого вида систем (температура, расход, АСР и т. п.) выбраны наиболее характерные современные системы, построенные на базе устройств с конкретными техническими характеристиками. Материал раздела сопровождается примерами, которые позволяют легко произвести необходимые проверочные или расчетные операции при наладке устройств с другими техническими характеристиками или конструкцией.

Глава XIV

ПУСКОНАЛАДОЧНЫЕ РАБОТЫ ПЕРВОЙ СТАДИИ

§ 40. Общие требования

При выполнении наладочных работ автоматическим приборам и системам должны быть приданы такие свойства и характеристики, которые обеспечат работу технологических установок с показателями, установленными проектом.

В зависимости от характера автоматизируемой установки (производства) и периода проведения наладки СНиП III-31—78 «Технологическое оборудование. Основные положения» разделяют работы на *пусконаладочные* (ПНР), выполняемые на объектах капитального строительства во время монтажа, испытаний и начального периода освоения проектных мощностей, и *наладочные*, выполняемые на реконструируемых, модернизируемых или подлежащих ремонту объектах.

Совокупность производственных операций и последовательность их выполнения, определяющие технологию ПНР, изложены в разделе 8 СНиП III-34—74 «Системы автоматизации». Предусмотрено три стадии выполнения ПНР: первая, как правило, выполняется вне строительной

площадки, вторая — на недействующем технологическом оборудовании и третья — во время комплексного опробования и начального периода освоения производственных мощностей.

Необходимо отметить, что пусконаладочные и наладочные работы имеют одинаковое техническое содержание и их отличия состоят только в ряде организационных моментов, таких, как планирование, финансирование, оформление документации.

Для начала работ первой стадии на объекте требуется выполнить ряд требований, без которых невозможно осуществлять пусконаладочные работы.

Первое требование — получить от заказчика и изучить полный комплект проекта автоматизации. Только на основе этого можно составить смету на объем работ, определить потребность в наладочном персонале, вспомогательных материалах, поверочном оборудовании и т. д.

Для выполнения наладочных работ на промышленных объектах должна быть создана производственная база, поэтому *второе требование* — готовность производственных помещений для оборудования производственной базы наладочной организации.

Выпускаемые приборы и средства автоматизации и сами технологические процессы и аппараты постоянно совершенствуются и модернизируются. Для работы с автоматическими системами необходимы наладчики, овладевшие навыками настройки новых типов приборов, знающие новые технологические процессы, изучившие опыт эксплуатации подобных систем на других сходных предприятиях. Последнее обстоятельство является особенно важным, так как конечной целью наладочных работ является передача в постоянную промышленную эксплуатацию не только работающих, но и надежных в эксплуатации систем.

Начало наладочных работ по отношению к периоду строительства зависит от многих обстоятельств. Если монтаж и наладку выполняет одна организация, то допускается совмещать монтажные и наладочные работы во времени. Если монтаж и наладку выполняют организации различных ведомств, начало наладочных работ совпадает с моментом окончания монтажа приборов и средств автоматизации. Начало работ зависит также от оригинальности монтируемой аппаратуры. При наладке опытных производств или производств, автоматизируемых с помощью опытной аппаратуры, анализ проекта должен быть проведен до начала монтажа приборов и средств автоматизации, чтобы не допустить к монтажу схемы и системы, работоспособность и надежность которых не проверены.

§ 41. Изучение проекта автоматизации и подготовка производства пусконаладочных работ

Изучение проекта начинают с проверки комплектности рабочих чертежей и текстовых материалов, а также документации, разработанной заводами-изготовителями, на поставляемое оборудование. К началу изучения необходимо иметь технологический регламент автоматизируемого производства и комплект инструкций заводов-изготовителей аппаратуры на средства автоматизации, применяемые для рассматриваемого объекта. При отсутствии в проекте каких-либо чертежей, режимных карт, предель-

ных значений настроек систем сигнализации и защиты, расчетов регулирующих органов и сужающих устройств и т. п. они должны быть затребованы у заказчика.

Системы автоматизации, как правило, изучают в определенной последовательности для различных технологических установок, аппаратов или агрегатов. По результатам предварительного изучения составляют пояснительную записку, в которой приводят сведения, необходимые для дальнейших подготовительных работ:

краткое описание технологии автоматизируемого объекта; характеристики сырья, полупродуктов на различных стадиях производства и конечной продукции;

характеристику средств автоматизации по виду и параметрам используемой энергии, особенностям конструкции, типам;

характеристику систем по функциональному назначению;

сведения о числе отдельных типов устройств и систем.

После рассмотрения записки решают вопрос об объеме и сроках выполнения мероприятий по подготовке производства ПНР. Для крупных и уникальных объектов строительства эти мероприятия выполняют специализированные участки подготовки производства (УПП). Мероприятия, как правило, предусматривают выпуск текстовых материалов и перечень организационно-технических работ. Текстовые материалы включают в себя справочное пособие и технический отчет.

В справочном пособии приводят сведения об организациях, участвующих в строительстве (проектировщиках, разработчиках, генеральном подрядчике, заказчиках, смежных пусконаладочных организациях и т. п.), перечень технологических аппаратов и их расположение на строительной площадке, принцип построения проекта и его состав, принятые условные изображения, сокращения, специфические термины, расположение пунктов управления и отдельных приборов на производстве и аппаратах и т. п.

В техническом отчете детально разбирают все особенности проекта и намечают основные формы технологии и организации пусконаладочных работ. На базе отчета составляют рабочие тетради по отдельным установкам, содержащие сведения о количественном и качественном составе оборудования и систем автоматизации, упрощенные принципиальные технологические схемы с нанесением позиций по проекту, описание наиболее сложных систем регулирования, схемы расположения оборудования, схемы обвязки отборных и исполнительных устройств, перечни позиций систем сигнализации и защиты и т. п.

Организационно-техническая работа включает в себя организацию изготовления требуемой оснастки и оборудования, приобретение образцовых средств измерений, мебели, вспомогательных материалов, составление графиков обеспечения работ квалифицированными исполнителями, выпуск организационно-распорядительной документации и т. п.

Когда мероприятия по подготовке производства разрабатывают нецентрализованно, т. е. текстовые материалы (пояснительные записки, справочное пособие, технический отчет) подготавливают наладчики в пределах поручаемых им работ, то текстовые материалы выполняют в виде рабочих тетрадей произвольной формы, которые имеются у каждого старшего звена, группы и бригады.

Последовательность изучения проектной документации одинакова и для руководителя наладочной группы, который анализирует документацию по всему проекту в целом, и для наладчика, анализирующего документацию по конкретным системам. Начинают рассматривать техническую документацию с технологии автоматизируемого производства. При этом особенное внимание обращают на те моменты, которые определяют требования, предъявляемые данной технологией к приборам и средствам автоматизации:

объем автоматизации, т. е. перечень величин, которые определяют нормальное течение процесса и которые необходимо измерять, регистрировать, поддерживать на заданном уровне;

точность, с которой должны измеряться и поддерживаться на заданном уровне эти величины;

аварийные и предельные значения величин, которые обеспечивают защиту оборудования от аварий, разрушения и высокую надежность технологического процесса.

Каждый наладчик составляет описание той части технологии производства, на которой ему поручено выполнить ПНР.

Изучение технологии производства требует от наладчиков хороших знаний физики, химии, механики и других специальных дисциплин в объеме курса средней школы.

По функциональной схеме автоматизации определяют, какие требуемые для нормального ведения процесса приборы и регуляторы будут смонтированы на производстве; осуществляются ли сигнализация предельных значений измеряемых величин и защита оборудования при их аварийных значениях; имеется ли у оператора или машиниста возможность ручного управления процессом при выходе из строя систем автоматического регулирования.

Точность систем измерения и регулирования зависит от класса точности выбранных приборов контроля и регулирования и от диапазона их измерений. Сведения о запроектированных приборах и диапазонах их измерений приведены в спецификации к проекту автоматизации. При рассмотрении проекта необходимо иметь в виду, что значения измеряемых величин, соответствующие нормальному технологическому режиму, должны лежать, как правило, в пределах 30—75 % диапазона измерения прибора или степени открытия регулирующего органа.

Запроектированная аппаратура должна соответствовать как характеристикам измеряемых величин, так и условиям внешней среды в месте монтажа прибора. Например, приборы для измерения давления, расхода или другого свойства кислот, щелочей и других агрессивных веществ, должны быть выполнены из материала, не подвергающегося коррозии, или защищены от агрессивных веществ разделителями, разделительными средами. Аппаратура, устанавливаемая на открытом воздухе и подверженная влияниям низких температур, должна быть размещена в обогреваемых шкафах. Проходящие на открытом воздухе импульсные линии, предназначенные для замерзающих сред, должны обогреваться.

В процессе изучения проектной документации особенное внимание обращают на возможность выполнения наладки, а затем и эксплуатации приборов и средств автоматизации безопасными методами и в безопасных

условиях. Так, находящиеся на высоте преобразователи, которые требуют наладки и эксплуатационного обслуживания, устанавливают на ограждаемых площадках обслуживания; запорную арматуру (краны, вентили) систем контроля — в легко доступных местах. Горячие поверхности вблизи установленных приборов изолируют.

Серьезного рассмотрения требуют вопросы обеспечения взрыво- и пожаробезопасности. Взрывоопасными могут быть смеси горючих газов с воздухом (окислителем), легковоспламеняющиеся жидкости, твердые горючие вещества, находящиеся во взвешенном состоянии в атмосфере помещений, где установлены приборы. Газовые смеси взрывоопасны в определенном диапазоне концентраций горючего в окислителе. Нижняя и верхняя границы этого диапазона называются соответственно нижним и верхним пределом взрываемости. При концентрации, большей верхнего и меньшей нижнего пределов, горения и взрыва не происходит. Границы предела взрываемости смесей приведены в справочной технической литературе. Например, для смеси аммиака и воздуха пределы составляют 15—28%, а для ацетилена — 2,5—81,0%.

В зависимости от температуры самовоспламенения (наименьшей температуры, при которой равномерно нагретая смесь воспламеняется без постороннего источника зажигания) взрывоопасные смеси делят на шесть стандартных групп:

Группа	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Температура самовоспламенения, °С	450	300...450	200...300	135...200	100...135	85...100

По способности передачи взрыва смеси делят на четыре категории, обозначаемые арабскими цифрами. Чем выше номер категории, тем взрывоопаснее смесь.

В зависимости от характера производства помещения, в которых могут образовываться взрывоопасные смеси, делят на классы:

ВI — помещения, в которых могут образовываться взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы оборудования;

ВIа — помещения, в которых такие смеси образуются в аварийных условиях;

ВIб — помещения, в которых взрывоопасные концентрации могут образовываться в аварийных случаях в небольших объемах, а также те, в которых горючие газы обладают резким запахом и нет опасности появления открытого огня;

ВIг — наружные технологические установки, содержащие взрывоопасные газы, пары, эстакады с трубопроводами горючих газов и легковоспламеняющихся жидкостей;

ВII и ВIIа — помещения, в которых образуются взрывоопасные концентрации горючих пылей или волокон соответственно в нормальном и аварийном режимах работы.

Данные по категориям и группам смесей и классам помещений необходимы для проверки правильности выбора типа и исполнения оборудования систем автоматизации.

Выявленные в процессе анализа неточности или ошибки проекта представляют на рассмотрение техническому совету предприятия.

Любое изменение проекта, проведенное наладочным персоналом или

заказчиком, должно быть согласовано с проектной организацией и утверждено главным инженером предприятия. Наладчики обязаны оказывать при необходимости техническую помощь по монтажу приборов и средств автоматизации монтажному персоналу. Это обусловлено тем, что требования к теоретической подготовке наладочного персонала выше, чем требования к монтажному персоналу той же квалификации. Действенная помощь в монтаже может быть оказана лишь в том случае, если наладчики будут знать и свободно ориентироваться в любой части проекта автоматизации.

С момента начала работ на объекте наладочный персонал заносит в рабочие тетради дополнительную техническую документацию: вспомогательные чертежи, тематические подборки по особенностям технологии и методике проверки аппаратуры и другие материалы технической информации по технологии производства и аппаратуре.

§ 42. Производственная база для проведения пусконаладочных работ

Производственной базой для проведения пусконаладочных работ называется производственное помещение или совокупность производственных помещений, оборудованных для проведения наладочных работ industriальными методами по определенной технологии.

Основная задача производственной базы — обеспечить выполнение максимально возможного объема работ в условиях стационарного помещения. При этом большая часть работ переносится из условий строительной площадки в условия, близкие к лабораторным. Чем полнее решается эта задача, тем выше производительность труда и качество наладочных работ.

Производственная база должна быть приспособлена для анализа проектной документации; промежуточного складирования и комплектации поступающей в проверку аппаратуры; проведения инструментальной проверки, сдачи в государственную поверку и подстройки приборов и средств автоматизации в процессе выполнения наладочных работ; хранения контрольного оборудования, инструментов, вспомогательных материалов и прочих материальных ценностей.

На базе должны быть созданы нормальные бытовые условия для персонала пусконаладочной группы. Площадь одного рабочего места по проверке и настройке аппаратуры должна быть не менее 4,5 м².

Температура воздуха в помещении должна поддерживаться $20 \pm 2^\circ \text{C}$, что обусловлено метрологическими требованиями к условиям проведения предмонтажной проверки и сдачи в госповерку большинства серийно выпускаемой аппаратуры. Освещенность рабочих мест должна соответствовать санитарным нормам на проведение подобных работ.

Оборудование производственной базы начинают с составления на основании изучения и анализа проектной документации перечней контрольной аппаратуры, нестандартного оборудования, оснастки, инструмента и вспомогательных материалов, необходимых для выполнения пусконаладочных работ.

При значительном объеме приборов и средств автоматизации подготавливают журналы промежуточной проверки позиций приборов и средств автоматизации (табл. 12), что позволяет осуществлять контроль и учет выполняемых работ.

Т а б л и ц а 12. Форма журнала проверки позиций КИПиА

№ п/п	Наименование прибора	Тип прибора	Позиция по проекту	Предел измерений	Заводской номер	Принят в проверку (дата, позиция)	Проверен (дата, подписи)	Передан в монтаж (дата, подписи)	Примечание
1	Уровнемер	УБ-П11	32	0—800 мм					
2	Ротаметр	РПД-3201	58	0—4000 л/ч					Утрачен паспорт

Подлежащую проверке аппаратуру размещают на стеллажах. При получении на приборы в соответствии со спецификацией наносят штемпелем или специальным карандашом номер позиции по проекту, после чего распределяют их на соответствующие стеллажи. Для складирования приборов, которые должны быть установлены на одной установке, агрегате или аппарате, выделяют, как правило, стеллаж или группу стеллажей и вывешивают на них соответствующие таблички.

Рабочие места для проверки приборов, моделирования и статической надстройки систем оборудуют специализированными стендами и оборудованием. Специализация рабочих мест может быть осуществлена как по типу аппаратуры (пневматическая, электронная), так и по номенклатуре (расходомеры, манометры и т. п.). Число рабочих мест определяется разнообразием аппаратуры, ее общим числом и сроками проведения работ.

При наличии большого числа однотипной аппаратуры возможна компоновка оборудования в специализированные стенды. Комплекты специализированных рабочих мест или стендов сохраняют, как правило, на весь период проведения работ.

На рабочие места питание подается от электросети или от системы воздухообеспечения. Если для проверки аппаратуры требуется электропитание различного рода (переменное и постоянное напряжение различных номиналов или частоты), то на рабочем месте устанавливают розетки, на которых маркируются род тока, полярность и номинал напряжения. Для подключения приборов к источникам энергии изготавливают жгуты проводов или шлангов со смонтированными на концах вилками, лепестками, колодками или штуцерами.

Материальный склад производственной базы предназначен для хранения инструмента, спецодежды, контрольной аппаратуры и вспомогательных материалов. Учитывают и выдают материальные ценности со склада по журналу или по личной карточке работающего.

В производственном помещении оборудуют учебные и информационно-справочные стенды, на которых помещают материалы о передовой технологии наладочных работ, о ходе выполнения заданий по вводу систем автоматизации, социалистического соревнования бригад и отдельных наладчиков.

§ 43. Предмонтажная проверка приборов и средств автоматизации

Между выпуском приборов и средств автоматизации в обращение и моментом их установки на место монтажа на объекте строительства аппаратура подвергается транспортировке и хранению. Чтобы на монтажную площадку поступали только исправные приборы, их подвергают предмонтажной проверке. Цель такой проверки — исключить задержки пуска и дополнительные затраты на замену или ремонт смонтированного неисправного оборудования.

Приборы, сроки хранения которых превысили установленные стандартами межповерочные интервалы, а также поступающие по импорту, перед монтажом подвергают очередной поверке. Кроме того, стандарт рекомендует проведение внеочередной поверки всех средств автоматизации после транспортировки и хранения. Поэтому задачу предмонтажной проверки можно определить как подготовку средств автоматизации к очередной и внеочередной поверкам, выполняемым органами государственного или ведомственного надзора.

До начала работ по проверке должно быть закончено оборудование производственной базы, обеспечена доставка подлежащих проверке средств автоматизации в соответствии с утвержденными графиками. На период проверки заказчик передает в распоряжение наладочной организации паспорта и монтажно-эксплуатационные инструкции на аппаратуру, специальный инструмент, приспособления, запасные части и материалы, поступающие комплектно с оборудованием.

Особенно тщательно проверяют устройства и комплектность систем, предназначенных для работы во взрывоопасных помещениях. Все электрические приборы должны быть взрывозащищенного исполнения. По *уровню взрывозащиты* различают электрическое оборудование повышенной надежности против взрыва (условное обозначение Н), взрывобезопасное (В) и взрывобезопасное во всех режимах (О).

По *способу обеспечения взрывобезопасности* различают электрооборудование: искробезопасное (И), продуваемое под избыточным давлением нейтральным газом (П); помещенное во взрывонепроницаемую оболочку (В); заполненное песком (К) или маслом (М); с автоматическим отключением (А).

На каждом устройстве нанесен уровень взрывозащиты в кружке и способ ее обеспечения рядом в треугольнике. Например, изображение в кружке ВЗТ1 означает, что прибор взрывобезопасный, для работы со смесями 3-категории и группы Т1, а буква М в треугольнике — взрывозащита обеспечивается заполнением полостей прибора маслом.

Обычно приборы взрывозащищенного исполнения являются взрывобезопасными только при совместной работе с устройствами определенного

типа, поэтому на приборах и преобразователях стоит надпись: «В комплекте (тип устройства)», которая располагается рядом со знаком, указывающим тип взрывозащиты.

При комплектовании такой аппаратуры следует иметь в виду, что в помещениях класса ВІ следует применять электрические приборы и преобразователи с уровнем взрывозащиты О для соответствующих категорий и групп смесей; класса ВІа — В или Н; классов ВІб и ВІг — Н; класса ВІІ — Н; класса ВІІа — устройства, в которых уровень взрывозащиты обеспечивается заполнением маслом.

При выполнении предмонтажной проверки средств автоматизации проводят визуальный внешний осмотр; подготавливают к проверке и проверяют основные характеристики, производят юстировку; подготавливают к сдаче в государственную поверку и к монтажу исправную аппаратуру.

Внешний осмотр. Устанавливают наличие комплекта документации, клейм и пломб завода-изготовителя, а также специнструмента. Поступающие в поверку приборы и средства автоматизации должны соответствовать по типам, диапазонам измерений и виду исполнения спецификации проекта. На корпусах и видимых частях узлов и блоков приборов и средств автоматизации не должно быть следов механических повреждений или коррозии. Комплектность узлов и блоков должна быть полной.

Подготовка к проверке основных характеристик. Удаляют с приборов консервирующие покрытия и разарретируют детали и узлы, закрепленные на время транспортировки. У электрических устройств проверяют состояние контактных поверхностей. Узлы и детали смазывают или заполняют маслом. Подготавливают к работе узлы лентопротяжных механизмов и регистрации.

Проверка основных характеристик. Проверяют сопротивление изоляции у электрических или герметичность чувствительных элементов у пневматических или гидравлических устройств. Сопротивление изоляции электрических цепей прибора должно быть не ниже указанного в паспорте или инструкции на прибор.

Осмотренную и расконсервированную аппаратуру подключают к проверочной схеме для проверки работоспособности всех узлов и блоков прибора в режимах, близких к рабочим. Проверочная схема содержит в себе узел питания прибора энергией (электрическим током, сжатым воздухом); узел имитации значений измеряемого параметра; образцовую измерительную аппаратуру; устройства для проверки элементов позиционного регулирования и цепей сигнализации; коммутационные линии; оснастку для установки и закрепления приборов.

Выбранная для проверки образцовая измерительная аппаратура должна соответствовать требованиям стандартов на методы и средства поверки конкретных устройств. Для проверки *измерительных приборов* выбранное средство измерения должно удовлетворять условию

$$\frac{\Delta_0}{x_{нр}} \cdot 100\% < \frac{1}{C} \delta_n,$$

где Δ_0 — предел допускаемой абсолютной погрешности образцового прибора при максимальном значении входной величины; $x_{нр}$ — нормирующее значение (диапазон изменения) входного сигнала; δ_n — предел допу-

скаемой погрешности проверяемого прибора; C — постоянная величина. В общем случае C равно 4, по разрешению органов Госстандарта может быть 3.

Для проверки *измерительных преобразователей* выбранные средства измерения должны удовлетворять условию

$$\left(\frac{\Delta_{01}}{x_{нр.вх}} + \frac{\Delta_{02}}{x_{нр.вых}} \right) \cdot 100 \% \leq \frac{1}{C} \delta_n,$$

где Δ_{01} и Δ_{02} — пределы допускаемой абсолютной погрешности образцовых приборов, примененных для измерения соответственно входного и выходного сигналов; $x_{нр.вх}$ и $x_{нр.вых}$ — нормирующие значения (диапазоны изменения) входного и выходного сигналов; C — постоянная величина, равная 4 (допускается принимать $C=3$ по разрешению органов Госстандарта).

В тех случаях, когда погрешность средств автоматизации превышает установленные предельные значения, ее доводят в процессе проверки до допустимых значений органами настройки (например, корректорами нуля, диапазона измерений и т. п.). Операция по доведению погрешности до установленных значений называется *юстировкой*.

Основную погрешность проверяют, как правило, на шести точках шкалы проверяемого прибора, соответствующих 0; 20; 40; 60; 80 и 100 % диапазона измерения. Для оценки основной погрешности на каждой из указанных точек нужно определить *абсолютную погрешность*. Для этого на каждой проверяемой точке с помощью устройства имитации устанавливают указатель (стрелку, циферблат, световой индикатор). Действительное значение величины измеряют образцовым прибором. Абсолютную погрешность прибора на данной точке определяют как наибольшую разность между расчетным значением величины на проверяемой точке и действительным ее значением, измеренным образцовым прибором при подходе указателя к проверяемой точке со стороны 0 и максимального значения.

Если нуль прибора разрегулирован и диапазон измерения его отличается от расчетного, то в процессе предмонтажной проверки регулируют их органами настройки.

Основную погрешность приборов определяют в тех единицах физических величин, на которые реагирует измерительная система прибора. Например, основную погрешность потенциометров нужно определять в милливольтгах (не °С), а расходомеров переменного перепада — в МПа (не т/ч). Это требование вызвано тем, что точность отсчета по шкалам измерительных приборов гораздо ниже, чем по шкалам образцовых приборов, которые измеряют физические величины.

Некоторые виды аппаратуры имеют особенности, которые каждый наладчик должен учитывать при проведении предмонтажной проверки. Так, для определения основной погрешности регуляторов всех типов достаточно подсчитать отношение разности заданным и поддерживаемым значениями регулируемой величины, отнесенным к диапазону регулирования. У регуляторов, не имеющих оцифрованных в физических единицах (секундах, минутах, процентах) шкал, по результатам проверки составляют градуировочную характеристику, на основании которой производят их настройку.

Не для всех приборов в условиях наладочной производственной базы

возможно проинмитировать плавное изменение измеряемой величины в диапазоне его измерения. Например, для газовых и жидкостных термометров, сигнализаторов уровня, ротаметров, объемных счетчиков, магнитных расходомеров определяют не основную погрешность, а правильность показаний (срабатывание) на некоторых точках (например, для газовых термометров 0 или 100° С). Не подлежат проверке также основные технические характеристики термозлектрических преобразователей и термопреобразователей сопротивления, измерительных преобразователей систем измерения состава и физико-химических свойств сред, ротаметров и индукционных измерительных преобразователей расхода, пускорегулирующей электрической аппаратуры.

Вариацию прибора определяют одновременно с основной погрешностью и вычисляют как разность действительных значений измеряемой величины, соответствующих одной и той же точке шкалы проверяемого прибора при прямом и обратном ходе указателя.

Затем проверяют узлы лентопротяжного механизма, записи, срабатывание переключающих устройств, элементов и цепей сигнализации и позиционного регулирования, наличие смазки вращающихся элементов и редукторов и затягивают все резьбовые соединения прибора.

По результатам проверки составляют протоколы по установленной форме (СНиП III-34—74), которые затем передают монтажной организации как приложения к акту сдачи монтажных работ.

Прошедшие проверку приборы с нанесенными на них номерами позиций в соответствии с проектом автоматизации устанавливают на стеллажи соответствующей установки или агрегата. О прохождении проверки и передаче прибора в монтаж отмечают в журнале.

Неисправные приборы передают заказчику для проведения ремонта или замены.

По взаимной договоренности по окончании проверки приборы могут быть подготовлены силами работников пусконаладочных организаций к сдаче в госповерку.

Подготовка к сдаче в государственную поверку. Устанавливают аппаратуру на стенды, подключают питание и прогревают. В случае предъявления проверенной аппаратуры органам Госстандарта протоколы не составляют, а решение о пригодности средства автоматизации к использованию делает поверитель, который удостоверяет это подписью и оттиском клейма.

Рабочие места или стенды для проверки определенных типов аппаратуры закрепляют на время проведения работ за отдельными наладчиками. Специализация наладчиков по отдельным видам аппаратуры позволяет значительно повысить производительность труда.

Глава XV

ПУСКОНАЛАДОЧНЫЕ РАБОТЫ ВТОРОЙ СТАДИИ

§ 44. Проверка выполненного монтажа

Правильно выполненный монтаж должен обеспечить соединение всех приборов и средств автоматизации в работоспособные системы контроля, регулирования и управления в соответствии с проектом автоматизации

и требованиями СНиП III-34—74, а также отвечать специальным требованиям ГОСТов и монтажно-эксплуатационных инструкций заводов-изготовителей аппаратуры.

Монтаж приборов и средств автоматизации состоит из трех стадий: прокладка кабельных и трубных командных линий по строительным конструкциям и эстакадам; установка и обвязка щитов, пультов и статов в помещениях контрольно-измерительных приборов, монтаж импульсных трасс; обвязка преобразователей. Соответственно на три стадии разбивается и совмещенная с монтажом проверка монтажных работ. По всем смонтированным узлам и конструктивным элементам монтажники составляют протоколы проверки сопротивления изоляции электрических и герметичности (опрессовки) трубных линий.

На каждой стадии осмотром выполненного монтажа устанавливают наличие проектных маркировок кабельных и трубных линий, а также отдельных цепей на приборах, сборках зажимов, переборочных соединениях, соединительных коробках и т. д.; наличие требуемых уклонов импульсных линий; наличие запорной арматуры и площадок обслуживания; состояние аппаратуры и соединительных линий.

Правильность соединения элементов системы автоматизации проверяют двумя методами. Непосредственно прослеживают электрические и трубные линии, определяя правильность коммутации элементов системы и их взаимное расположение, состояние линии на всем ее протяжении, возможные электрические влияния со стороны соседних цепей. Этот метод неприменим при большом числе параллельно идущих линий и цепей, а также при взаимном удалении элементов систем. Второй метод основан на прозвонке (продувке) электрических цепей и трубных линий.

По окончании прозвонки наладчики проверяют соответствие выполненного монтажа внешних цепей схемам внутренних соединений подключенной аппаратуры. Все нарушенные во время прозвонки резьбовые соединения и контакты по окончании проверки монтажа подтягивают. Приборы, аппаратуру, соединительные коробки и переборочные соединения закрывают крышками.

Для повышения качества монтажа и ускорения его проверки в состав бригады заказчика, принимающей проверку сопротивления изоляции цепей и герметичности импульсных и командных трубных линий, целесообразно вводить звено наладчиков. В этом случае помимо непосредственного участия в приемке монтажа наладчики осуществляют непрерывный контроль за его качеством.

На время проверки монтажа и выполнения последующих этапов наладочных работ звено монтажников вливается в состав наладочной бригады. Такая организация работ позволяет оперативно решать все вопросы, связанные с исправлением ошибок монтажа и переделками схем и систем по рекомендациям, составленным в ходе выполнения наладочных работ.

Последовательность и сроки выполнения отдельных этапов монтажных и наладочных работ определяются совмещенным графиком проведения монтажно-наладочных работ, который составляют совместно монтажные и наладочные подразделения на объекте. При составлении этого графика учитывают общий график выполнения строительно-монтажных работ по объекту в целом.

Результаты проверки выполненного монтажа, перечень обнаруженных ошибок и некачественно выполненных монтажных работ заносят в журнал замечаний и предложений по качеству монтажных работ, который хранится у руководителя монтажного подразделения. На основании заключений наладочной группы о качестве монтажа монтажники переделывают его или исправляют обнаруженные ошибки. При подготовке замечаний и предложений по изменению схем и проектных решений наладчики дорабатывают конструкции узлов обвязки приборов и определяют точные места установки преобразователей, если в проекте эти вопросы детально не разработаны.

При особой стесненности помещений, затрудненном доступе к оборудованию или других специфических условиях оказывается затруднительным выполнить все рекомендации СНиПа, технических условий на приборы и средства автоматизации, инструкций по монтажу аппаратуры. В этом случае наладчики производят расчет влияния отклонений от рекомендаций на точность измерения, регулирования и сигнализации конкретных параметров, который служит обоснованием для необходимых переделок.

После осмотра и проверки правильности монтажа проверяют смонтированные элементы систем автоматизации только при условии завершения монтажных работ по проверяемой системе. После проверки отдельных элементов проверяют их готовность к совместной работе.

Проверяют элементы в определенном порядке. К проверяемому устройству подключают по постоянной или временной схеме источник энергии. При отсутствии коммутационных аппаратов все непроверяемые системы и элементы надежно отключают от общего источника питания. Тумблеры, переключатели и краны на аппаратуре устанавливают в положение «Выключено». Для проверки используют имитаторы физических величин и контрольные устройства.

Системы контроля. Взаимодействие элементов проверяют, как правило, при трех значениях контролируемого параметра — нулевом, среднем и максимальном. Причем погрешность измерений определяют при среднем значении измеряемого параметра. При необходимости наладчики должны подрегулировать нулевое значение параметра и диапазон измерения прибора органами настройки, выведенными на лицевую панель или корпус прибора. Время передачи показаний в системе определяется как время между ступенчатым изменением значения величины на входе системы и моментом достижения этого же значения на отсчетном устройстве вторичного прибора. Во время опробования узлы регистрации вторичных приборов также включают в работу.

Автоматические системы регулирования. Устанавливают среднее значение задания регулятору. Изменяют значение регулируемой величины имитирующим устройством в окрестности заданного. При переходе значения регулируемой величины через заданное управляющий сигнал регулятора должен переместить регулирующий орган в сторону, компенсирующую это изменение. Если регулирующий орган переместился в обратную сторону, изменяют фазировку системы регулирования и осуществляют статическую настройку таким образом, чтобы обеспечить заданное проектом соотношение или значение регулируемых величин во всем диапазоне изменения технологических режимов.

Системы дистанционного управления. Проверяют правильность фазировки элементов. Во время проверки снимают так называемые механические характеристики регулирующих органов, которые отражают зависимость между перемещением клапана или заслонки и значением управляющего сигнала (обычно в процентах от максимального значения). Для большинства регулирующих органов механическая характеристика должна быть близка к прямолинейной. В противном случае производят линеаризацию (спрямление) характеристики путем подбора длин и углов сочленений или настройкой позиционеров.

Системы управления, защиты и сигнализации. Преобразователи настраивают на предельные (согласно проекту автоматизации) значения параметров, входящих в систему. При имитации возрастания или уменьшения значения параметра до предельного должны сработать все элементы системы. В тех случаях когда управляющие или регулирующие устройства монтируют и настраивают другие организации (например, монтажники-электрики), наладчики совместно с ними проверяют появление сигнала в цепях управления и защиты.

Для проведения проверки приборов и средств автоматизации широко применяют различные имитаторы и переносные приборы, выпускаемые как серийно, так и изготавливаемые в наладочных организациях.

Обнаруженные и ликвидированные неисправности, механические характеристики регулирующих органов и другие сведения, необходимые для выполнения наладочных работ, фиксируют в журнале производства наладочных работ.

На больших объектах между помещениями, где установлены преобразователи, и центральным пунктом управления должна быть телефонная связь. Если такая связь не предусмотрена проектом, то наладчики на время проверки монтируют временную связь, используя в качестве линий связи резервные кабельные жилы.

Проверяют приборы и средства автоматизации по графику. График составляет заказчик и согласует с наладчиками. В первую очередь проверяют системы и узлы автоматизации, без которых невозможен пуск производства или которые невозможно проверить после пуска производства без его остановки.

К таким системам относятся большинство систем автоматического контроля, системы дистанционного управления сигнализации и защиты и некоторые системы автоматического управления. Затем проверяют элементы систем контроля качественных показателей сред и большинство систем регулирования.

Элементы систем автоматизации проверяют только при наличии письменного разрешения руководителя монтажной организации и заказчика.

По результатам проверки особо ответственных систем автоматизации, от надежности работы которых зависит безаварийность работы агрегатов и безопасность обслуживающего персонала, составляют протоколы (табл. 13) проверки систем. Протокол подписывают члены специально создаваемой комиссии, в которую помимо наладчиков входят ответственные представители технологической службы и службы автоматизации заказчика.

Т а б л и ц а 13. Протокол систем блокировки и сигнализации турбокомпрессора

Мы, нижеподписавшиеся, главный энергетик завода и руководитель бригады пусконаладочного управления, составили настоящий протокол в следующем:

опробованная по искусственным импульсам система блокировки компрессора обеспечивает передачу сигнала команды на остановку компрессора по всем блокировочным параметрам;

схема сигнализации обеспечивает технологическую предупредительную и аварийную сигнализацию всех предусмотренных проектом параметров;

элементы сигнализации и блокировки настроены.

Номер п/п	Параметры	Позиция по проекту	Величина предельного значения
1	Давление масла в насосах, Па: резервном основном	2000 2060	4,2 минимальная 3,8 »
2	Температура подшипников, °С: предварительная аварийная	— 25	62 максимальная 70 »
3	Давление на линии нагнетания, МПа	215	4,8 минимальная

В тех случаях, когда исполнительные устройства монтируют и налаживают другие организации, в состав комиссии включают представителей этих организаций.

§ 45. Включение систем автоматизации при испытаниях и опробовании технологического оборудования

В соответствии со Строительными нормами и правилами строительно-монтажные работы на объекте заканчиваются индивидуальными испытаниями агрегатов и аппаратов и комплексным опробованием оборудования с выдачей пробной продукции. В период испытаний оборудование обкатывают на нейтральных средах, промывают, сушат.

На стадии обкатки технологам необходима информация о состоянии оборудования и параметрах нейтральных сред, поэтому все системы, от которых зависит безопасное и безаварийное ведение технологического процесса, должны быть включены в полном объеме в момент обкатки агрегатов. В первую очередь к ним относятся системы технологической и аварийной сигнализации, блокировки и защиты. Основная задача наладчиков на этом этапе — обеспечить пуск необходимым объемом работающих систем автоматизации и не допустить выхода аппаратуры контроля из строя в момент ее включения.

Заказчик не может опробовать основное технологическое оборудование без согласования с наладочной организацией по приборам и средствам автоматизации.

Для включения систем автоматизации должен быть выполнен ряд требований:

проверены элементы систем, о чем делают запись в журнале наладки;
закрыты корпуса приборов и средств автоматизации;

подано питание систем автоматизации энергией на распределительные устройства по постоянной схеме;

установлены плавкие вставки, уставки автоматов питания, настройки прочей предохранительной аппаратуры в строгом соответствии с проектом автоматизации; параметры окружающей среды (температура, влажность, состав) в местах установки приборов и в помещениях преобразователей, щитов и пультов находятся в пределах, допустимых для эксплуатации данного типа приборов.

В помещения, где расположена аппаратура, не должны допускать посторонних лиц.

Включение систем автоматизации начинают с подачи питания на все вторичные и первичные приборы. При этом у регистрирующих приборов включают в работу узлы регистрации значений измеряемых величин. При необходимости органами настройки регулируют нулевые значения измеряемых величин. Преобразователи и первичные приборы включают на измерение в соответствии с правилами, изложенными в монтажно-эксплуатационных инструкциях на аппаратуру в разделе «Включение приборов в работу».

Перед включением приборов на непосредственное измерение необходимо убедиться в том, что характеристики измеряемых сред (агрегатное состояние, физико-химический состав, температура, давление, влажность) как реальных, так и имитирующих нейтральных, близки к проектным.

Например, включение в работу расходомеров переменного перепада при температуре и давлении, отличающихся от предусмотренных проектом, не дает достоверных данных о действительном расходе сред. Не будет обеспечена нормальная работа систем дистанционного управления при манометрическом режиме процесса, отличающемся от проектного, а попадание влаги в такие приборы, как перепадамеры газов, вообще выведет их из строя.

Для проверки работы систем автоматизации в разных режимах под руководством наладчиков операторы производят необходимые технологические переключения, например изменяют значение измеряемой величины и направление потоков измеряемых сред в трубопроводах, емкостях, аппаратах. Если в период пуска система вышла из строя, то устраняют неисправности и перед включением ее элементы снова проверяют.

Техническое оснащение наладчиков приборами, инструментом и оснасткой остается таким же, как и на этапе проверки.

Работы по включению систем автоматизации проводят, как правило, звеньями из двух наладчиков. Звену поручают включить приборы на одном из агрегатов установки, а в случае большого числа систем и сравнительно узкой номенклатуры аппаратуры — однотипные системы (например, контроля уровней или газового анализа) в пределах всей технологической установки.

Сведения о результатах работ по включению систем автоматизации заносят в журнал производства наладочных работ бригады.

Последовательность и сроки включения в работу систем автоматизации определяются графиком включения в работу приборов, который согласуют с порядком и сроками проведения пусковых операций основного технологического оборудования.

Перед началом работ весь наладочный персонал подробно инструктируют о правилах производства работ на действующем оборудовании. Инструктаж проводит инженер по технике безопасности завода-заказчика. К работам с включенными системами автоматизации допускается только наладочный персонал. Включают и выключают любую систему только после согласования с начальником смены на данной установке или с руководством наладочной бригады, осуществляющей пуск и наладку технологического оборудования. Сведения о всех включенных и выключенных в пусковой период системах автоматизации заносят в сменный журнал. В процессе включения приборов наладчики проводят инструктаж сменного технологического персонала по правилам пользования элементами управления (ключами, тумблерами, переключателями), расположенными на лицевой панели щита.

Наладчики должны помнить основное правило работы на действующем оборудовании: все технологические переключения, необходимые для включения и выключения аппаратуры, а также для ее испытания, производятся только технологами после согласования с начальником смены.

Г л а в а X V I

ПУСКОНАЛАДОЧНЫЕ РАБОТЫ ТРЕТЬЕЙ СТАДИИ

§ 46. Определение и установка настроек систем автоматизации

Перед выполнением работ третьей стадии должны быть окончены строительно-монтажные работы и начаты наладочные работы по технологическому оборудованию. По мере проведения пусковых операций и доведения показателей работы оборудования до номинальных наладочный персонал включает в работу невключенные в первой стадии системы автоматизации.

При наладке *систем автоматического контроля* на действующем технологическом оборудовании необходимо обеспечить требуемую проектом точность измерений параметров технологического процесса. Точность измерений системы проверяют сравнением показаний приборов систем контроля с непосредственными измерениями параметров процесса или с данными, полученными в результате расчета.

Непосредственное измерение параметров выполняют образцовыми приборами по месту. Например, уровни жидкости измеряют по водомерным стеклам, температуру — ртутными образцовыми термометрами, состав, плотность и другие физико-химические свойства — по данным лабораторных анализов.

При определении точности работы систем контроля наладчик должен учитывать и вводить поправки на отклонение состояния измеряемых сред от расчетных. Например, если система предназначена для измерения расхода пара температурой 350° С, а в действительности в момент проверки температура пара была 250° С, то при определении показаний расходомера необходимо внести поправку, соответствующую отличию температуры от расчетной на 100° С.

Как правило, точность работы систем контроля проверяют при показателях технологического процесса (нагрузке), близких к проектным, чтобы условия работы приборов также приближались к расчетным. Нельзя судить о точности работы расходомера переменного перепада при расходе среды, меньшем одной трети номинального. Это же требование — наличие средних нагрузок — в полной мере относится и к наладке систем регулирования и дистанционного управления.

При отклонении показаний системы контроля от расчетных проверяют все элементы системы, включая и соединительные линии, устраняют неисправности и повторно включают систему в работу.

Точная и надежная работа систем контроля в большой степени определяется качеством проведения предшествующих этапов наладочных работ, а систем регулирования — качеством динамической настройки на действующем технологическом оборудовании.

Наладка *автоматических систем регулирования* (АСР) включает в себя следующие работы: определение инерционности и коэффициента усиления регулируемых величин, расчет по полученным данным настроек регуляторов, установку и включение регуляторов с рассчитанными значениями настроек в работу, корректировку при необходимости установленных значений параметров динамической настройки регуляторов (см. § 16).

Инерционные свойства объекта могут быть определены как расчетным путем, так и экспериментально. В практике наладочных работ применяют различные экспериментальные методы оценки свойств регулируемых величин, так как они менее громоздки и позволяют учесть все отклонения конструкций аппаратов и самих процессов от идеальных, принимаемых за основу при расчетных методах. Вид экспериментального метода выбирают с учетом требуемой точности получаемых данных, помехозащищенности процесса, возможных отклонений параметров участков регулирования от номинальных, необходимых для получения достоверных характеристик.

Обработка полученных экспериментальных данных позволяет получить информацию о свойствах участков регулирования, таких, как инерционность и коэффициент усиления. После настройки регуляторов системы включают в работу. Задания регуляторам по поддержанию регулируемых величин устанавливаются в соответствии с требованиями проекта или технологического персонала. При работе систем дистанционного управления, входящих в автоматические системы регулирования, номинальное значение регулируемого параметра должно обеспечиваться при открытии регулирующего органа в пределах 40—75 % от максимального.

Как правило, во время достижения проектной мощности технологических процессов значения сигнализируемых и ограничиваемых параметров меняются по сравнению с номинальными в широких пределах, что позволяет наладочному персоналу проверить надежность срабатывания систем сигнализации, защиты и управления на реальных средах.

Наладочные бригады на рассматриваемом этапе должны быть обеспечены многоточечными записывающими приборами с широким диапазоном изменения скорости регистрации и полуавтоматическими устройствами для снятия и обработки характеристик объектов регулирования.

Наладочные работы должны вестись согласованно с технологическим персоналом, осуществляющим пуск и наладку технологического оборудования. При оценке качества работы той или иной автоматической системы решающее слово остается за технологами.

Работа наладочных бригад в период пуска технологического оборудования осуществляется, как правило, круглосуточно. Начало и окончание работ по снятию характеристик, включению и выключению систем автоматизации фиксируются в сменном технологическом журнале. В журнале производства наладочных работ описывают все работы, выполненные на данном этапе, дают характеристики объектов, результаты обработки характеристик, расчет настройки систем и установленные регулятором задания.

§ 47. Испытания налаженных систем

Перед передачей в эксплуатацию налаженные системы автоматизации должны пройти производственные испытания. Объем и порядок проведения испытаний той или иной системы определяются многими факторами и в первую очередь той ролью, которую играет испытываемая система в общей схеме управления технологическим процессом. Многообразием технологических процессов объясняется то обстоятельство, что до настоящего времени не созданы нормативные материалы, регламентирующие порядок проведения испытаний налаженных систем.

Общие требования к проведению испытаний согласовываются с заказчиком при составлении программы работ. Конкретный объем и сроки испытаний отдельных систем или группы систем автоматизации регламентируются программой испытаний. Программу испытаний составляют в произвольной форме, она должна содержать перечень подлежащих испытанию систем, эксплуатационные режимы, в которых должны проводиться испытания, сроки проведения и кратность испытаний. В программе указывают требуемые результаты испытаний и ответственных за реализацию программы. Программу испытаний, а также состав приемной комиссии, которой поручается контроль за ходом испытаний, утверждает главный инженер предприятия-заказчика.

Как правило, основным содержанием проводимых испытаний является проверка эксплуатационной надежности и качества работы систем в наиболее тяжелых эксплуатационных режимах автоматизируемого технологического процесса.

Системы автоматического контроля в большинстве случаев испытывают на точную и безаварийную работу в течение определенного периода, как правило, не превышающего трех суток. Программой могут быть предусмотрены испытания на быстроедействие системы контроля, а также определение динамических погрешностей при резком изменении контролируемых параметров.

В процессе испытаний наладчики проводят эксплуатационные операции с аппаратурой: периодический контроль работы, смазывание, заливку чернил, продувку мест отборов и т. п.

Испытания *автоматических систем регулирования* состоят из проверки надежности работы аппаратуры, проводимой аналогично проверке рабо-

тоспособности и надежности систем автоматического контроля, проверки показателей качества регулирования и устойчивости. Полученные данные изображают в виде диаграмм или таблиц. Аналогичные испытания проводят при различных режимах (нагрузках) технологического агрегата или процесса.

Устойчивость систем проверяют при минимально возможных технологических нагрузках.

В ущерб качеству регулирования в номинальном режиме обеспечивают устойчивость системы в наиболее тяжелом режиме.

Программой предусматриваются испытания срабатывания *систем сигнализации или защиты* при достижении технологическими параметрами предельных значений, если по условиям ведения технологического режима возможно изменение этих параметров.

Системы сигнализации, автоблокировки и защиты испытывают при всех включенных в работу узлах и элементах. Исключение из этих систем отдельных параметров или введение деблокирующих зависимостей осуществляется только при наличии письменного распоряжения главного инженера или директора предприятия-заказчика.

По результатам испытаний приемная комиссия делает заключение о готовности налаженных приборов и средств автоматизации к сдаче.

В период проведения испытаний на объекте организуют круглосуточное дежурство наладочного персонала. По окончании испытаний численность наладочного персонала на объекте сокращают и в составе бригад остаются, как правило, наиболее квалифицированные наладчики, которые ликвидируют недоделки, отмеченные в процессе проведения испытаний. Они же подготавливают необходимый объем технической документации, входящей в виде приложений к акту сдачи объекта в постоянную промышленную эксплуатацию.

В тех случаях, когда техническими условиями или особенностями технологического процесса проведение испытаний не предусматривается, анализ работоспособности включенных систем производят по результатам опытно-промышленной эксплуатации, которую осуществляют наладочный и эксплуатационный персонал. В процессе эксплуатации проверяют характеристики и показатели работы систем так же, как при проведении испытаний. Разница состоит в том, что оценку пригодности систем к использованию производят по результатам работы в обычных эксплуатационных условиях, а не в искусственно создаваемых «пиковых» режимах.

§ 48. Подготовка и оформление сдаточной документации

Налаженные приборы и системы автоматизации передают заказчику после подписания акта сдачи — приемки систем автоматизации в постоянную промышленную эксплуатацию. Объем приборов и систем автоматизации, сдаваемых по одному акту, а также общее число актов сдачи и специфические условия сдачи отдельных систем автоматизации определяются обычно перечнем актов сдачи по объекту наладки, который является приложением к договору на проведение пусконаладочных работ.

Акт сдачи завершает комплекс работ по внедрению запроектированных систем автоматизации. Техническая документация, прилагаемая к акту, дополняет проектную и используется при эксплуатации налаженных систем.

К акту сдачи подготавливают следующую техническую документацию: откорректированный экземпляр рабочих чертежей проекта автоматизации;

протоколы испытаний:

систем защиты, блокировки и сигнализации;

автоматических систем регулирования;

перечни: параметров настройки регуляторов; невключенных систем автоматизации; предложений по повышению надежности и качества работы налаженных систем;

памятки для технологического персонала и персонала КИП.

В экземпляр проекта автоматизации, передаваемый заказчику, вносят все исправления и изменения, сделанные в процессе выполнения наладочных работ. Все изменения, кроме исправления ошибок проекта, должны быть подтверждены и оформлены соответствующими протоколами или решениями.

При значительной переработке принципиальной схемы автоматизации отдельные листы проекта выпускают вновь.

В комплект приложений к акту сдачи включают протоколы испытаний систем блокировки, защиты и сигнализации, а также перечень предельных значений (уставок) параметров этих систем. При отличии уставок от предусмотренных проектом техническую документацию по этим системам дополняют решениями об их изменении. Если в процессе изменения нагрузок агрегата уставки систем согласно проекту должны изменяться, то в паспорте настроек приводят зависимость их значения от режима работы технологического агрегата.

По автоматическим системам регулирования в комплект технической документации включают программу и протоколы испытания налаженных систем. Отдельно составляют перечень параметров динамической и статической настроек.

Все не включенные во время проведения наладочных работ системы автоматизации объединяют в отдельный перечень. В примечаниях к каждой позиции перечня указывают причины, которые не позволили включить запроектированные системы, например некомплектность аппаратуры и вспомогательных устройств, отсутствие нормального технологического режима в послепусковой период.

Предложения по дальнейшему повышению надежности и качества работы систем автоматизации включают в рекомендации по повышению надежности и качества работы налаженных систем. К таким предложениям относятся следующие: замена запроектированных типов приборов на более совершенные, серийно выпускаемые образцы; переделка основного технологического оборудования (изменение мест врезки преобразователей; установка или демонтаж регуливающей и запорной арматуры; стабилизация некоторых технологических параметров и изменение технологического режима); проведение дополнительных экспериментально-исследовательских работ по отдельным схемам или узлам автоматизации. Все

рекомендации заказчику должны иметь детальное технико-экономическое обоснование.

Для технологического персонала (начальников смен, операторов, машинистов) наладчики составляют памятки по использованию приборов и средств автоматизации для управления технологическими процессами, которые содержат описание органов управления и элементов систем сигнализации, расположенных на лицевых панелях щитов и пультов в центральном диспетчерском помещении и на местных щитах управления и сигнализации; правила пользования органами управления при автоматическом и ручном управлении и правила перехода с управления в одном режиме на другой; логическую последовательность появления световой и звуковой сигнализации при предельных значениях параметров.

К акту сдачи прикладывают памятку эксплуатационному персоналу службы КИП по методике наладки, поиску и устранению характерных неисправностей в системе автоматизации. В памятке приводятся схемы расположения элементов систем автоматизации и краткое описание их взаимодействия; методы наладки приборов и средств автоматизации как примененные при наладочных работах, так и рекомендуемые к использованию в процессе эксплуатации; способы поиска неисправностей в аппаратуре и системах и методы их оперативного устранения.

К моменту подписания акта сдачи заказчику сдается все неустановленное оборудование, монтажно-эксплуатационные инструкции на аппаратуру, специнструмент и неиспользованные части и вспомогательные материалы, входящие в комплект ЗИПа.

О проделанных наладочных работах составляют технический отчет по всему объекту или по отдельным его установкам, по всему ходу наладочных работ или по их отдельным этапам. Технический отчет составляют руководители наладочных бригад по материалам журнала наладки.

Отчет включает в себя раздел с кратким описанием технологических особенностей автоматизируемого процесса или установки; раздел «Наладочные работы», в котором описывают этапы наладки приборов и средств автоматизации, приводят методические указания по наладке отдельных приборов и систем, и раздел «Организация работ и их техническое и материальное обеспечение». Завершается отчет копией акта сдачи и полной технической документацией, входящей в комплект акта сдачи.

Глава XVII

ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ НАЛАДКЕ ПРИБОРОВ И СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ

§ 49. Лабораторные контрольные приборы

Лабораторные контрольные приборы применяют для проверки технических приборов, рассмотренных в предыдущих параграфах. Как правило, такие приборы представляют собой точные эквиваленты и измерители сопротивлений, э. д. с., давления и вакуума, перепада давлений.

Переносные потенциометры ПП-63 (рис. 109) для измерения напряжения постоянного тока и электродвижущей силы (э. д. с.). Диапазон измерения потенциометра 0—100 мВ, класс точности 0,05. Наибольшая основная погрешность не превышает значения, определяемого по формуле $\pm(5 \cdot 10^{-4}U + 0,5U_{\min})$, где U — показание потенциометра, В; U_{\min} принимает значения, равные $2,5 \cdot 10^{-5}$;

$5 \cdot 10^{-5}$ и $10 \cdot 10^{-5}$ соответственно для диапазонов измерения 0—25; 0—50 и 0—100 мВ. Например, если по потенциометру определено значение э. д. с. 60 мВ, то погрешность этого измерения будет не более чем $\pm(5 \cdot 10^{-4} \cdot 60 \cdot 10^{-3} + 0,5 \times 10 \cdot 10^{-5}) = 3,5 \cdot 10^{-5} \text{ В} = 0,035 \text{ мВ}$.

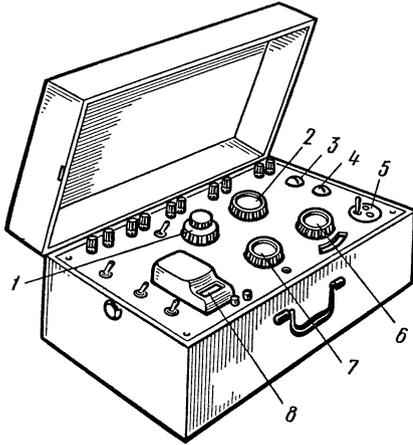


Рис. 109. Потенциометр типа ПП-63:

1 — рукоятка установки рабочего тока, 2 — рукоятка ИРН, 3 — переключатель нагрузки, 4 — переключатель рода работ, 5 — переключатель диапазонов, 6 — реохорд, 7 — секционный переключатель, 8 — гальванометр

Гальванометр 8 служит для индикации момента компенсации измеряемого напряжения и для установки рабочего тока с помощью рукоятки 1 потенциометра. Штепсельным переключателем 5 устанавливают требуемый диапазон измерений: 0—25; 0—50 или 0—100 мВ.

Потенциометр может работать как источник-измеритель э. д. с., как измеритель э. д. с. и напряжения и как источник плавнорегулируемого напряжения (ИРН) постоянного тока. Этим режимам соответствуют положения переключателя 4 рода работы: «Проверка», «Потенциометр», «ИРН». Необходимое сопротивление внешней линии выбирают переключателем 3. Показания отсчитывают по шкалам секционного переключателя 7 и реохорда 6. На панель потенциометра выведены тумблеры, зажимы (для подключения внешних гальванометра и источников питания) и рукоятки 2 ИРН.

Измеряемое напряжение или линию, в которую необходимо подать напряжение, подключают с соблюдением полярности к зажимам потенциометра X. Переключатель 4 устанавливают в требуемое положение. Тумблер питания устанавливают в положение «Вкл». Перемещая штепсель переключателя 5 в требуемое гнездо, выбирают требуемый диапазон измерения ($\times 0,5$; $\times 1$; $\times 2$). Переключатель гальванометра устанавливают в положение K, и при нажатии кнопки «Грубо» верхней ручкой переменного резистора (рукояткой 1) устанавливают стрелку гальванометра на нуль. Ту же операцию повторяют при нажатой кнопке «Точно», вращая нижнюю ручку переменного резистора.

Напряжение измеряют путем установки переключателя гальванометра в положение И. Нажатием кнопки «Грубо» и вращением переключателя 4 и реохорда стрелку гальванометра устанавливают на нуль, затем нажи-

мают кнопку «Точно» и повторяют операцию. Полученную сумму значений переключателя и реохорда умножают на множитель, установленный на переключателе реохорда.

Магазин сопротивления МСР-63 (измеряющий магазин). Класс точности магазина 0,05, а предел измерения до 11111,1 Ом; точность отсчета 0,01 Ом.

На лицевую панель магазина выведены рукоятки семи декадных переключателей, против которых установлены множители: $\times 10\,000$ Ом; $\times 1000$ Ом;; $\times 0,01$ Ом и два зажима для подключения в электрическую схему. Необходимо учитывать, что номинальная мощность для магазина 0,1 Вт, откуда легко определить допустимые токи при различных значениях устанавливаемого сопротивления. Установленное сопротивление определяют как сумму произведений номеров, установленных на декадах секций, на множители декады.

Магнитоэлектрические милливольтмиллиамперметры для измерения силы постоянного тока. Милливольтмиллиамперметр М2007 предназначен для измерения силы постоянного тока в диапазоне 0—30 мА и напряжения 0—300 мВ с точностью не ниже 0,2% от верхнего предела поддиапазона. В корпус прибора (рис. 110) утоплена шкала 2 со стрелкой 3. Переключателями 4 выбирают род измерений (ток или напряжение) и необходимый поддиапазон. Прибор применяют в качестве образцового при проверке приборов и преобразователей токовой ветви ГСП.

Магазин типа Р-5017 для измерения комплексной взаимоиנדуктивности. Диапазон измененной взаимной индуктивности магазина от минус 13,1 до плюс 13,1 мГн. Цена деления магазина 0,01 мГн. Предел допускаемой основной погрешности на более $\pm (14 \cdot 10^{-3} + 1,1 \cdot 10^{-3} M)$, где M — установленное значение взаимной индуктивности, мГн. Для значения, например, 8 мГн предел допускаемой основной погрешности $(14 \cdot 10^{-3} \times 1,1 \cdot 8 \cdot 10^{-3}) = 0,023$ мГн. Допускаемые основные погрешности угла потерь и отсчета остаточной взаимной индуктивности M_0 не более, соответственно, 15 мин и ± 15 мкГн.

На лицевой панели магазина расположены ручки декадных переключателей (рис. 111). Тумблерами Т1-Т3 изменяют знак входного сигнала, значение аргумента (угла сдвига) и знак взаимной индуктивности. К зажимам 1—2 и 3—4 подключают, соответственно, питающую и вторичную обмотки дифференциального трансформатора или ферродинамического преобразователя. К зажимам 5—6 подключают амперметр переменного тока, а к зажимам 7—8 — вибрационный гальванометр типа ВГ или М501.

Для измерения взаимной индуктивности при предвостановочной проверке измеритель-

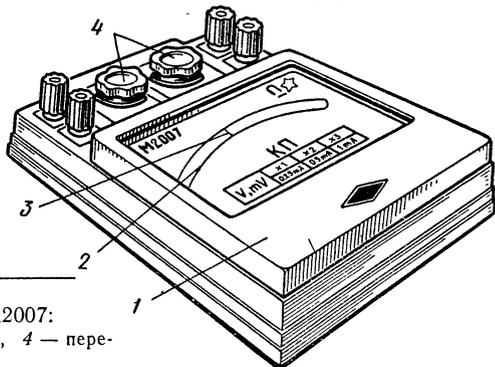


Рис. 110. Милливольтметр М2007:
1 — корпус, 2 — шкала, 3 — стрелка, 4 — переключатели

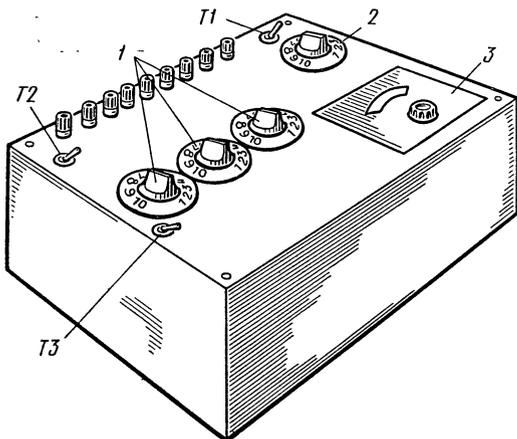


Рис. 111. Магазин комплексной взаимной индуктивности:

1 — переключатели M , 2 — переключатель M_0 , 3 — регулировка угла потерь, $T1-T3$ — тумблеры

ных преобразователей подают напряжение через автотрансформатор на зажимы 1—2 и по амперметру устанавливают ток 0,125 А. При нулевом значении переменных ручками изменения значений взаимной индуктивности и остаточной взаимной индуктивности добиваются равновесия схемы. Световое пятно на шкале вибрационного гальванометра должно

при этом иметь минимальную ширину при максимальной чувствительности.

Для измерения взаимной индуктивности в любой точке диапазона измерения переключатель 2 M_0 оставляют в начальном положении и добиваются равновесия схемы изменением положения ручек 1 декадных переключателей и ручки 3 угла потерь. Так же, как и в первом случае, равновесие схемы определяют при максимальной чувствительности вибрационного гальванометра.

Комбинированный прибор — ампервольтметр типа Р-386. Пределы измерения напряжения постоянного тока от 0—0,1 до 0—1000 В с точностью не ниже

$$\pm \left[0,06 + 0,02 \left(\frac{U_k}{U} - 1 \right) \right];$$

постоянного тока от 0—0,1 мА до 0—1000 мА с точностью не ниже

$$\pm \left[0,1 + 0,04 \cdot \left(\frac{I_k}{I} - 1 \right) \right];$$

сопротивления от 100 Ом до 10 МОм с классом точности 0,1/0,04, а также напряжения переменного тока и силы переменного тока.

Визуальный отсчет производят по отсчетному устройству, на котором индицируются полярность измеряемого сигнала и знак рода тока, пять значащих цифр на каждом диапазоне измерения, десятичная запятая и наименование единицы физической величины.

Вход I (рис. 112) предназначен для подключения цепей постоянного тока, вход II — переменного. С помощью переключателя 1 выбирают диапазон измерения по постоянному напряжению, току и сопротивлению. Диапазон измерений на переменном токе выбирают переключателем 3. Переключателем 2 устанавливают род работы. Переменные резисторы 4 служат для калибровки прибора, переключатели 5 — для подключения сети и фильтра. Ручкой 6 устанавливают частоту измерений в автоматическом режиме, а кнопкой 7 производят запуск прибора в ручном режиме.

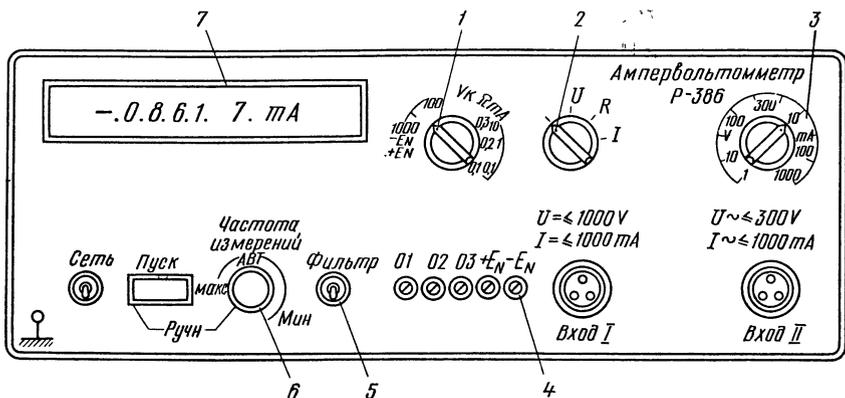


Рис. 112. Цифровой ампервольтметр (лицевая панель):

1, 3 — переключатели диапазонов, 2 — переключатель рода работы, 4 — переменные резисторы, 5 — переключатель, 6 — ручка установки частоты, 7 — индикатор

Перед работой прибор заземляют. Переключатель 2 рода работы устанавливают в положение «Контроль», а переключатель 1 — в положение «01». После включения тумблера в сеть должны загораться индикаторные лампы, за исключением двух последних. Вращением переменного резистора 01 добиваются того, чтобы прибор показывал значение 0000 ± 1 , причем единица младшего разряда должна изменять знак часто. Затем переключатель 1 устанавливают последовательно в положения «02» и «03», при этом вращением резисторов 02 и 03 также добиваются смены знака единицы младшего разряда. При переводе переключателя 1 в положения $+E_N$ и $-E_N$ соответствующими потенциометрами устанавливают на индикаторе точные значения э. д. с. нормального элемента, входящего в комплект прибора.

Для измерения постоянного тока, напряжения или сопротивления соединительный кабель подключают к входу I. Переключатель 2 устанавливают в положение, соответствующее роду измерения, а переключателем 1 выбирают требуемый диапазон измерения. Ручку 6 устанавливают в положение «Ручной» и включают кнопку «Пуск». При измерении напряжения и э. д. с. источников с большим внутренним сопротивлением включают переключатель 5 «Фильтр».

После одного-двух часов работы калибровку прибора рекомендуется повторять.

Комбинированный цифровой вольтметр типа В7-20. Предназначен для измерения напряжения переменного тока с классом точности 1/0,2, напряжения постоянного тока — 0,5/0,1, тока и сопротивления — 1/0,1. Диапазоны измерения напряжения переменного тока имеют значения от 0—1 до 0—1000 В, напряжения постоянного тока — от 0—1 до 0—1000 В, силы тока — от 0—1 до 0—1000 мА, сопротивления — от 0—1 до 0—1000 кОм.

На лицевой панели прибора (рис. 113, а) расположены цифровой индикатор 1 значения измеряемой величины, переключатель 2 предела измерений и переключатель 3 рода работ. На наклонной лицевой панели

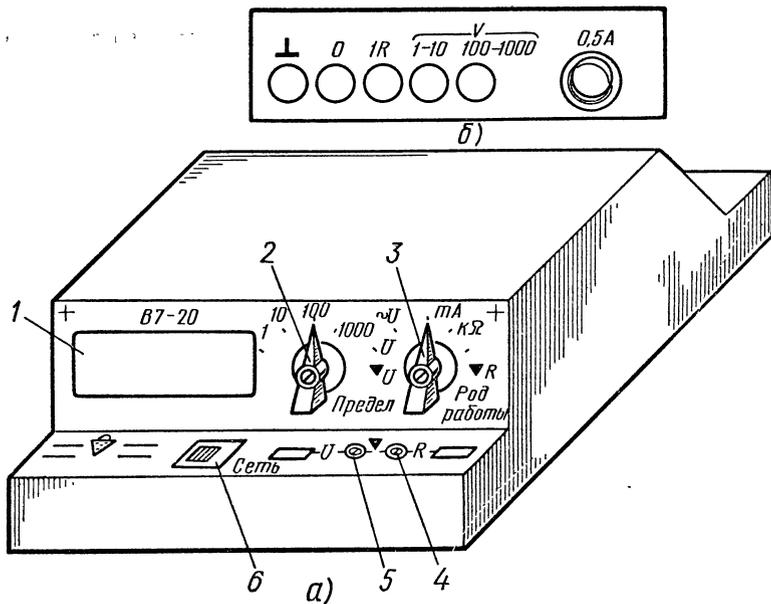


Рис. 113. Вольтметр В7-20:

a — лицевая панель, *б* — вид сзади; 1 — индикатор, 2, 3 — переключатели, 4, 5 — калибровочные резисторы, 6 — выключатель

расположены выведенные под шлиц резисторы 4 и 5 и выключатель 6 сети.

Перед началом работы вольтметр включают в сеть. Переключатель 3 устанавливают в положение *mA* и замыкают перемычкой зажимы 0 и 10 (рис. 113, б). После прогрева в течение 5 мин на индикаторе 1 должно быть одно из следующих показаний: +000; —000; +001 или —001. Переключатель 3 устанавливают в положение *U*, а переключатель 2 — в положение 10. При этом значение калибровочного напряжения на индикаторе 1 должно быть равно указанному в паспорте на прибор. При неравенстве напряжение регулируют резистором 5. Затем переключатель 3 устанавливают в положение *R*, а переключатель 2 — в положение 1. В результате на индикаторе должно появиться значение калибровочного сопротивления, которое при необходимости может быть отрегулировано резистором 4.

При измерении напряжения постоянного и переменного тока, а также сопротивлений зажим 0 перемычкой подключают к зажиму «Земля», соединенному с контуром заземления и с корпусом источника напряжения. При измерении силы тока и напряжения постоянного тока незаземленного источника перемычку между этими зажимами снимают.

При измерении напряжений до 10 В измеряемое напряжение подключают к зажимам 0 и 1—10 (рис. 113, б), при измерении напряжений выше — к зажимам 0 и 100—1000. Для измерения силы тока и сопротивления источник тока или неизвестное сопротивление подключают к зажимам 0 и 1.

При предмонтажной проверке приборов применяют средства измерения давления, разрежения, перепада давления, причем требуемый диапазон измерения давления лежит в пределах от глубокого вакуума до сверхвысокого давления.

Микроманометр образцовый компенсационный типа МКВ для измерения давления от 0 до 2,5 кПа. Класс точности прибора 0,02. Предел допускаемой основной погрешности 0,5 Па. Микроманометр (рис. 114) построен на принципе сообщающихся сосудов. В корпусе 1 на микрометрическом винте перемещается компенсационный сосуд 2, соединенный резиновым шлангом с сосудом 4 оптической системы. При отсутствии давления на входе микроманометра (плюсовая и минусовая трубки соединены с атмосферой) и при крайнем нижнем положении компенсационного сосуда 2 уровень жидкости в оптическом сосуде 4 будет находиться на нулевой отметке. Если в плюсовую трубку подать избыточное давление, то уровень в оптической системе снизится (за счет вытеснения жидкости). Вращая барабан с лимбом 3 с помощью микрометрического винта, компенсационный сосуд поднимают на высоту, при которой уровень жидкости в оптической системе станет равным нулю. Высота подъема сосуда, обеспечивающая компенсацию приложенного давления, умноженная на плотность жидкости, будет равна измеряемому давлению.

В качестве жидкости для заполнения микроманометра используют дистиллированную воду плотностью 1. Высота подъема компенсационного сосуда однозначно связана с давлением на входе прибора. Высоту подъема отсчитывают по линейкам, расположенным на корпусе прибора, и суммируют со значением по лимбу барабана. Лимб барабана разделен на

Рис. 114. Компенсационный микроманометр:

1 — корпус, 2 — компенсационный сосуд, 3 — лимб, 4 — сосуд оптической системы

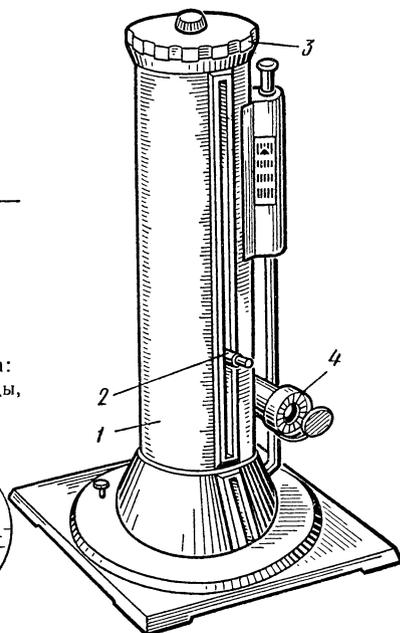
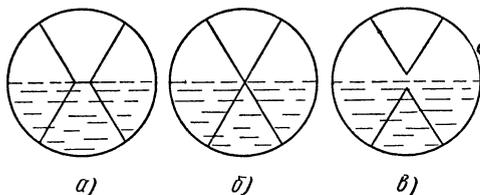


Рис. 115. Настройка нуля микроманометра:
а, в — пониженный и повышенный уровни воды,
б — правильное измерение



200 делений, шаг винта 2 мм, поэтому измерение высоты подъема производится с точностью до 0,01 мм.

Прибор устанавливают по уровню в строго вертикальное положение. Компенсационный сосуд 2 устанавливают в крайнее нижнее положение (нулевой отсчет по линейке и по лимбу), а сосуд 4 оптической системы — в среднее положение вращением специальной шайбы, которая может смещать его по вертикали на расстояние 10—12 мм. Через воронку в сосуд 4 заливают воду в таком количестве, чтобы штифт указателя в зеркале был близок к касанию жидкости. Вращением шайбы окончательно приводят вершину штифта к уровню воды. Изображение штифта указателя в зеркале оптической системы соответствует правильному измерению (рис. 115, б).

К плюсовому штуцеру подключают источник давления, а минусовый сообщают с атмосферой. Уровень воды к штифту-указателю подводят всегда снизу. Если уровень воды выше штифта-указателя, то компенсационный сосуд опускают ниже измеряемого значения и потом подводят уровень к штифту-указателю.

Образцовые манометры типа МО моделей 1226 и 1227 класса точности 0,16 для измерения среднего и высокого давления. Пределы измерения приборов выбирают из ряда $d \cdot 10^n$, где $d = 1; 1,5; 2,5; 4; 6$, а $n = 0; 1; 2$. Действие прибора основано на использовании упругой деформации одновитковой манометрической пружины. Шкала прибора имеет 100 оцифрованных делений, каждое из которых разделено на пять частей. Для оценки погрешности на верхнем и нижнем значениях диапазона за нулевой и максимальной отметками нанесены дополнительно по одному оцифрованному делению. Корректор нуля позволяет производить корректировку нулевого значения в пределах до 2 % верхнего предела измерений. Манометры с верхним пределом измерений до 2,5 МПа должны быть заарретированы во время транспортировки и хранения.

При эксплуатации в качестве образцового манометр устанавливают строго вертикально. Не допускается подвергать прибор вибрациям и тряске, температура воздуха в помещении, где установлен прибор, должна быть $20 \pm 3^\circ \text{C}$.

Перед началом работы арретир манометра снимают и подают на него давление, равное верхнему пределу, которое выдерживают около 4 мин, а затем то же время выдерживают прибор без давления. После этого показывающую стрелку при необходимости устанавливают на нулевую отметку.

Точная установка стрелки манометра должна производиться в направлении против часовой стрелки. При установке заданного давления рекомендуется легко постукивать по корпусу прибора пальцем. Не рекомендуется выдерживать прибор под избыточным давлением (без его снятия) более 30 мин.

Манометры с пределами измерений 0,1; 0,16; 0,25 МПа используют только для измерения давления газа. Для измерения ими давления жидкости применяют разделительные сосуды. Манометрами с верхним пределом измерений до 2,5 МПа допускается непосредственно измерять давление жидкости при условии заполнения полости пружины и подводящего штуцера жидкостью.

Грузопоршневые манометры типа МП (рис. 116) для измерения давления. Проверяемые манометры 1 устанавливают на пресс. Действительное значение давления определяется массой грузовой колонки 2 с расположенными на ней калиброванными грузами 3. Предварительное давление грубо устанавливают ручным насосом 4, который нагнетает в систему масло, заливаемое в бачок 5. Точное значение давления устанавливают, вращая рукоятку штурвала 7.

Манометры выпускают классов точности 0,02 и 0,05 с верхним пределом измерений от 0,25 до 60 МПа. Грузы изготовляют с учетом значения ускорения свободного падения для местности, в которой производится измерения.

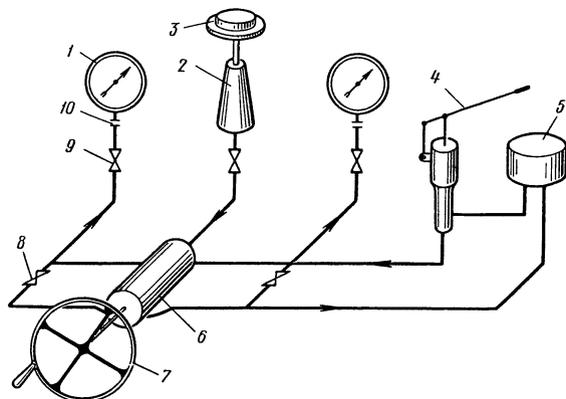


Рис. 116. Упрощенная схема грузопоршневого манометра:

1 — проверяемый манометр, 2 — колонка, 3 — грузы, 4 — насос, 5 — бачок, 6 — цилиндр, 7 — штурвал, 8, 9 — вентили, 10 — штуцер

Перед работой в бачок заливают масло, открывают вентили 9, устанавливают грузы массой, соответствующей давлению на проверяемой точке, и насосом нагнетают масло в систему до значения, близкого к проверяемому. Затем штурвалом доводят давление до значения, при котором грузовая колонка будет находиться во взвешенном состоянии. В момент отсчета значений давления грузовой колонке придают быстрое вращение. После измерения открывают вентили 8 и масло направляется в бачок.

На практике при наличии образцовых манометров класса точности 0,16 и 0,25 преобразователи давления и манометры классом точности не выше 1 проверяют без грузовой колонки. К одному из штуцеров 10 подключают образцовый манометр и по нему отсчитывают показания.

Лабораторные термометры типа ТЛ-4 для измерения температуры.

Комплект из одиннадцати термометров позволяет измерять температуру в пределах от -30 до 400°C . Допускаемая погрешность измерения в зависимости от температурного интервала:

Температурный интервал, $^{\circ}\text{C}$...	$-30 \dots -1$	$0 \dots 100$	$101 \dots 200$	$201 \dots 300$	$301 \dots 400$
Допускаемая погрешность, $^{\circ}\text{C}$	0,1	0,2	0,4	0,8	1

При измерении глубина погружения должна быть равна глубине, указанной на термометре. Если отметки о глубине погружения нет, то термометр погружают до отсчитываемой температурной отметки. Если температура выступающего столбика отличается от температуры градуировки (она или указывается на термометре, или принимается равной 20 °С), то вычисляют поправку $\Delta = \kappa(t_1 - t_2)n$, где $\kappa = 0,00016$; t_1 — температура при градуировке, °С; t_2 — температура выступающего столбика, °С; n — число градусов в выступающем столбике. Поправку алгебраически суммируют с показаниями термометра.

§ 50. Оборудование и устройства для ПНР

Для проведения предмонтажной проверки приборов и датчиков, установки и быстрого подключения налаживаемого оборудования, задания и измерения унифицированных сигналов при наладке каналов связи, проверке технических характеристик регулирующих и функциональных блоков, логических и исполнительных устройств применяют имитаторы физических величин, измерительно-задающие устройства, испытательные стенды и тестеры, специализированную оснастку.

Имитаторы физических величин. Для проверки устройств, предназначенных для измерения температуры, в качестве имитаторов применяют термостаты и муфельные печи.

Рис. 117. Термостат: →

1 — корпус, 2 — электродвигатель, 3, 4 — термометры, 5 — блок управления

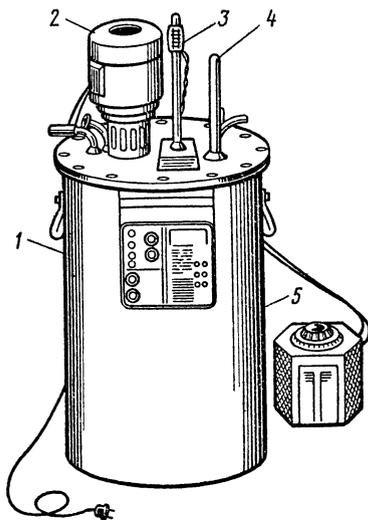
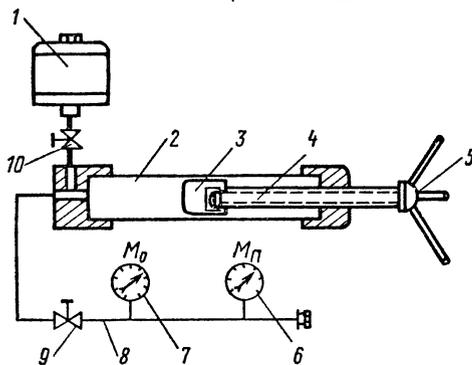


Рис. 118. Малогабаритный масляный пресс:

1 — бачок, 2 — цилиндр, 3 — поршень, 4 — шток, 5 — рукоятка, 6, 7 — манометры, 8 — коллектор, 9, 10 — запорные вентили



Термостат ТС-24 (рис. 117) оснащен двумя электрическими нагревателями и мешалкой, приводимой во вращение электродвигателем 2. В бачок (корпус) 1 заливают жидкость — дистиллированную воду (для проверки термометров с верхним пределом измерения 100 °С) или масло (с верхним пределом измерения 200 °С). Мешалка обеспечивает равномерный прогрев жидкости во всем объеме термостата. На крышке термостата устанавливают термометры (электроконтактный 3 и контрольный 4)

и проверяемый прибор. С помощью электроконтактного термометра устанавливают задаваемое значение температуры, которое автоматически поддерживается релейно-контактной системой, помещенной в блок управления 5. Перед включением в работу термостат заземляют.

Муфельные печи применяют для проверки термометров, термосигнализаторов и регуляторов, измеряющих температуру свыше 200 °С.

Приборы и устройства для измерения давления — манометры — проверяют малогабаритным масляным прессом (рис. 118) массой до 10 кг. Пресс используют как в лаборатории, так и непосредственно на технологической установке для создания давления до 6 МПа. Плиту струбцинами закрепляют на столе (площадке). На коллекторе 8 устанавливают проверяемый 6 и образцовый 7 манометры. Перед работой плиту, на которой установлен пресс, приводят в горизонтальное положение. В бачок 1 заливают масло, а поршень 3 с помощью рукоятки 5 устанавливают в крайнее левое положение. Открывают вентиль 10 и, убедившись, что вентиль 9 закрыт, перемещают поршень в крайнее правое положение — цилиндр заполняется маслом. Затем открывают вентиль 9 и заполняют маслом коллектор 8. После появления масла в штуцерах коллектора вентиль 10 закрывают. Для создания давления до 0,06 МПа применяют сильфонные или поршневые прессы, в которых рабочей средой является воздух. Давление в них создается за счет изменения объема полости сильфона или рабочей части цилиндра.

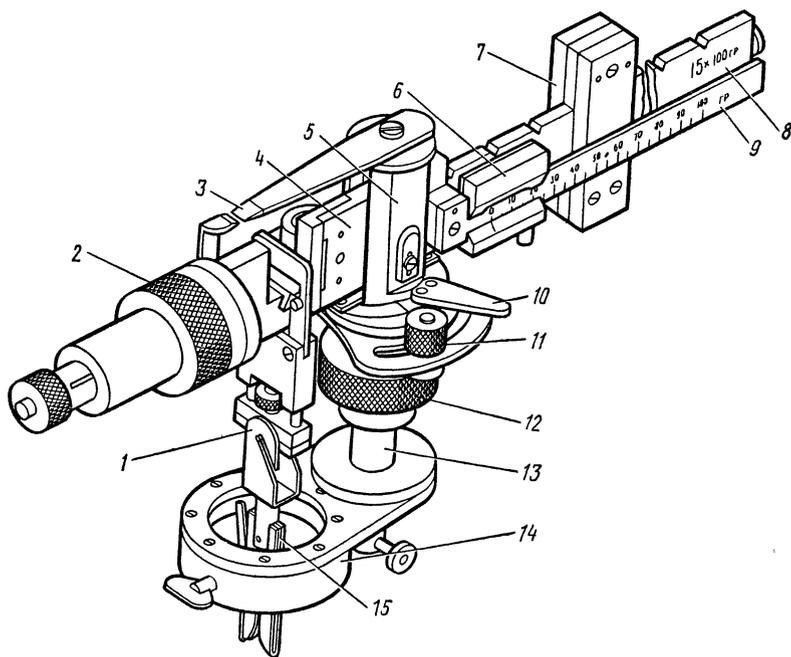


Рис. 119. Испытатель уровнемеров:

1 — подвес, 2, 6, 7 — грузы, 3 — стрелка, 4 — коромысло, 5 — опора, 8, 9 — линейки, 10 — арретир, 11, 12 — винты, 13 — стойка, 14 — узел крепления, 15 — захват

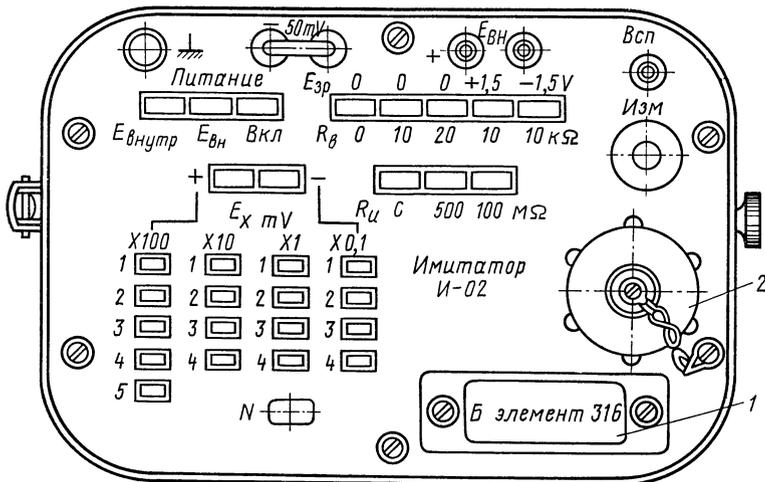


Рис. 120. Имитатор электродных систем И-02 (1, 2 — крышки)

Буйковые уровнемеры любых модификаций проверяют испытателем уровнемеров ИУ-182 (рис. 119). При подготовке к работе вывертывают пробку проверяемого уровнемера и на это место с помощью узла крепления 14 устанавливают испытатель ИУ-182. Разарретируют его и, установив большой 7 и малый 6 грузы на нулевые деления соответствующих линеек 8 и 9, балансировочными грузами 2 добиваются равновесия коромысла 4. Затем захват 15 устанавливают на шток проверяемого уровнемера. Требуемое значение выталкивающей силы подбирают грубо с помощью большого груза (каждое положение которого на линейке 8 фиксируется) и точно с помощью груза 6, который плавно перемещают по линейке 9.

ИУ-182 удобен при работе на технологической установке, так как позволяет проверять характеристики уровнемеров без их демонтажа.

Проверяют исправность и настраивают измерительные преобразователи рН растворов имитатором ИО2. Диапазон э. д. с. на выходе имитатора 0—2000 мВ, точность установки до 0,1 мВ, а сопротивления резисторов, имитирующих внутреннее сопротивление измерительного электрода, 0; 500 и 1000 МОм. Кроме того, имитатором проверяют влияние на работу преобразователя внутреннего сопротивления вспомогательного электрода, э. д. с. «земля — раствор» и напряжения помехи.

На лицевой панели имитатора (рис. 120) расположены кнопки переключателя э. д. с. $E_{x\text{ мВ}}$, переключатели внутреннего сопротивления измерительного $R_{и}$ и вспомогательного $R_{в}$ электродов. Режим работы имитатора выбирают переключателем «Питание».

При проверке помехозащищенности перемычку с зажимов « $\sim 50\text{ мВ}$ » снимают, внешнее калибровочное напряжение подключают к зажимам $E_{вн}$, а выходной сигнал снимают с гнезд «ВСП» и «ИЗМ». Крышкой 2 закрывают штепсельный разъем, к которому подсоединяют кабель при подключении имитатора вместо преобразователя к смонтированной системе. Под крышкой 1 располагаются элементы внутреннего источника э. д. с.

Измерительно-задающие устройства. При наладке измерительных систем и систем дистанционного управления необходимо воспроизводить с заданной точностью и контролировать значения унифицированных сигналов ГСП. Для этой цели применяют измерительно-задающие устройства электрических и пневматических сигналов.

Источник стабилизированных токов ИСТ (рис. 121) для работы с сигналами, изменяющимися в диапазоне 0—5 мА, позволяет проверять вторичные приборы ветви ГСП путем подачи на их вход плавно изменяющегося постоянного тока или дискретных значений постоянного тока 0; 1; 2; 3; 4 и 5 мА с точностью не ниже 0,2 % от диапазона измерений.

ИСТ можно использовать для проверки и настройки исполнительных механизмов или в качестве миллиамперметров для проверки измерительных преобразователей токовой ветви ГСП. Прибор рассчитан на работу с нагрузкой до 3 кОм. Питается прибор от сети напряжением 220 В или от внутреннего источника (6 элементов 373-й серии). Время непрерывной работы в автономном режиме без смены батарей не менее 7 ч.

При использовании ИСТ в качестве имитатора переключатель рода работы 2 устанавливают в положение «Фиксированные токи» и переключателем 3 устанавливают на зажимах «Нагрузка» необходимый ток во внешней цепи.

Чтобы получить плавно регулируемый ток, переключатель 2 устанавливают в положение «Регулировка тока», а ручками резисторов 4 и 5 устанавливают требуемое значение постоянного тока, которое при необходимости можно проконтролировать образцовым прибором, подключаемым к зажимам «Внешний прибор». Тумблер ТЗ устанавливают в положение «ВКЛ». Переключают источник питания тумблером Т1, а полярность микроамперметра — тумблером Т2.

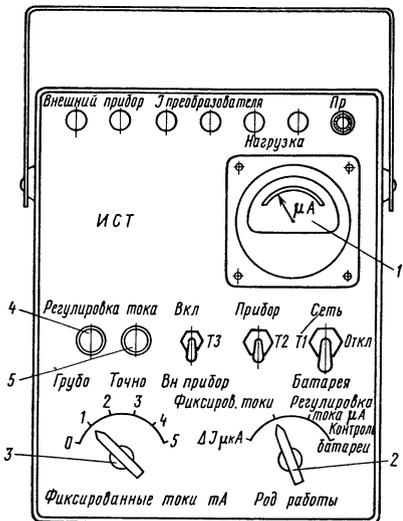


Рис. 121. Источник стабилизированных токов:

1 — микроамперметр, 2, 3 — переключатели, 4, 5 — регулировочные резисторы, Т1 — ТЗ — тумблеры

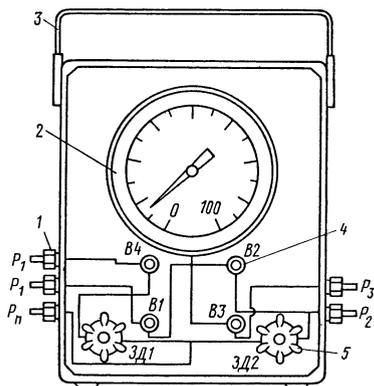


Рис. 122. Пневмотестер:

1 — штуцеры, 2 — манометр, 3 — ручка, 4 — вентиль, 5 — задатчик

При использовании ИСТ как миллиамперметра внешний источник подключают к зажимам преобразователя и отсчет разницы между фиксированным значением и измеряемым током ведут по микроамперметру 1.

При наладке АСР с блоками АКЭСР используют также *измерительно-задающее устройство ИЗУ*. В отличие от ИСТ оно дополнительно позволяет задавать и измерять напряжение постоянного тока в диапазоне 0—10 В, однако обладает меньшей точностью.

Для наладки пневматических систем используют *пневмотестер* (рис. 122). На панели тестера расположены образцовый манометр 2, четыре пневматических вентиля 4 и два задатчика 5. На боковые стенки выведены штуцеры 1 для подключения внешних трубных проводок.

Пневмотестер через штуцер P_n подключают к сети питания сжатым воздухом давлением 0,14 МПа. От этого штуцера питание поступает одновременно на входы задатчиков 3Д1 и 3Д2. В зависимости от положения пневмовентилей давление от 3Д1 может быть подано одновременно на выходы P1 и P2 (вентили В1 и В4 открыты; В2, В3 — закрыты) или на любой из выходов P1 и измерено манометром 2. Давление от задатчика 3Д2 подают только на выход P2, для измерения этого давления открывают вентиль В2 и закрывают остальные. При использовании пневмотестера в качестве манометра измеряемое давление подают на штуцер P3 и открывают вентиль В3, закрывая остальные.

Для проверки герметичности трубных проводок испытательное давление задают одним из задатчиков, выход P2 заглушают, а испытываемую проводку подсоединяют к штуцеру P3. Установив заданное давление, вентиль В2 закрывают и следят по манометру за давлением в проводке.

Для проверки исправности электрических цепей при полном снятии с них напряжения используют *пробник УП-71* (рис. 123). Гибкий вывод 1 подсоединяют к точке электроустановки, относительно которой определяют исправность цепи. Щуп 5 прижимают к токоведущим частям проверяемой системы. Если гальваническая связь между общей и проверяемой точками существует (сопротивление до 10 кОм), загорается белая лампа 3. Если напряжение электроустановки не снято, то загорается красная лампа 4, сигнализирующая о наличии напряжения (от 24 до 380 В) и необходимости немедленного прекращения работ. Если на проверяемом участке цепи отсутствуют элементы, обладающие существенным сопротивлением (обмотки реле, резисторы, диоды, лампы), и он сам имеет сопротивление до 10 Ом, то, установив отсутствие на нем напряжения, нажимают кнопку 2: об исправности цепи сигнализирует красная лампа.

Для наладки релейных систем сигнализации и управления, ячеек сигнализации, коммутирующей аппаратуры (пускателей, контакторов и т. п.) переменного тока напряжением 380; 220 и 127 В применяют *импульсный источник напряжения постоянного тока ИП*. В основе конструкции источника лежит известный эффект срабатывания и удержания электромагнитных устройств переменного тока при подаче на их вход постоянного тока с амплитудой напряжения и мощностью значительно меньшими, чем предусмотренные техническими условиями для переменного тока. В этом основное достоинство прибора — возможность проверки релейных систем безопасным для жизни человека значением тока. ИП подключают к сети переменного тока напряжением 220 В, а испытываемую схему или ее часть —

к зажимам 1 (рис. 124). При нажатии кнопки 2 в проверяемую схему подается напряжение постоянного тока с наложенным на него импульсом с амплитудой до 220 В. Длительность импульса при нагрузке 1000 Ом — до 100 мс. При увеличении нагрузки длительность импульса резко снижается.

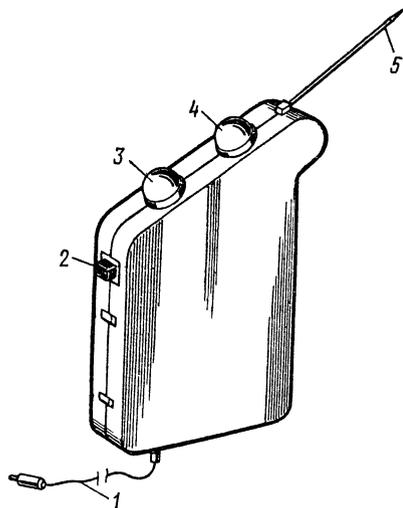


Рис. 123. Электрический пробник:
1 — вывод, 2 — кнопка, 3, 4 — лампы,
5 — щуп

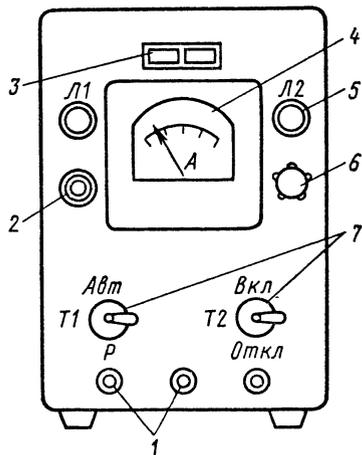


Рис. 124. Источник для наладки релейных систем:

1 — зажимы, 2 — кнопки, 3 — выключатель, 4 — амперметр, 5 — лампы, 6 — предохранитель, 7 — тумблеры

Для защиты от токов короткого замыкания на лицевой панели установлены автоматический выключатель 3, амперметр 4 для контроля значения тока нагрузки, сигнальные лампы 5 для сигнализации наличия импульса (Л1) и напряжения питания (Л2), тумблеры для перевода устройства в автоматический режим подачи импульсов (Т1) и для включения напряжения (Т2).

Импульсный источник в комплекте с имитатором дискретных входных сигналов (рис. 125) позволяет имитировать двухпозиционные устройства. Тумблеры имитатора Т1—Т7 имеют общую точку (*), а Т8—Т11 подключаются автономно. Имитатор имеет ламповое табло (лампы Л1—Л4) и гибкий кабель 1 с маркированными в соответствии со схемой проводами 2. Кабель укладывают в крышку 3 корпуса 4, на панели которого размещены тумблеры, ламповое табло и мнемосхема с маркировкой соединительных проводов.

Испытательные стенды и тестеры. Для проверки автоматических регуляторов и блоков применяют электрические и пневматические испытатели и стенды.

Тестер-испытатель ТИ-182 (рис. 126) предназначен для предмонтажной проверки регулирующих и функциональных блоков АКЭСР. Проверяемый блок подключают к стенду соединительными кабелями, имеющими стандартные штепсельные разъемы для проверки устройств шкафного ис-

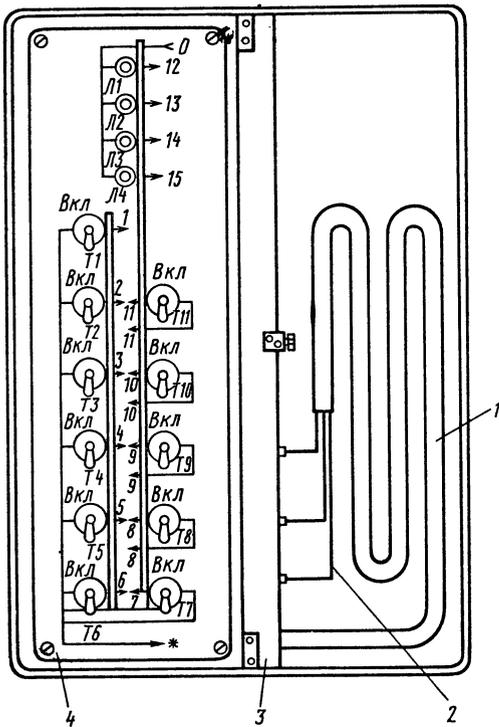


Рис. 125. Имитатор дискретных сигналов:
1 — кабель, 2 — провода, 3 — крышка, 4 — корпус

полнения. На лицевой панели расположены два узла управления 1, с помощью которых выбирают род входного сигнала (напряжение U , токи I_5 или I_{20}). Напряжение или ток могут изменяться плавно или дискретно с помощью кнопочных переключателей 0; 20... 100 %. Значения входных сигналов контролируют по прибору 2. Переключают приборы для измерения сигналов $X1$ и $X2$ переключателем 8.

Схемы для проверки блоков конкретных типов и модификаций собирают с помощью коммутационных вставок 3, входящих в комплект тестера. На лицевой стороне каждой вставки изображена структурная схема блока, расположены гнезда, позволяющие внешним прибором измерять напряжение в характерных точках, а также световые индикаторы, сигнализирующие о наличии на-

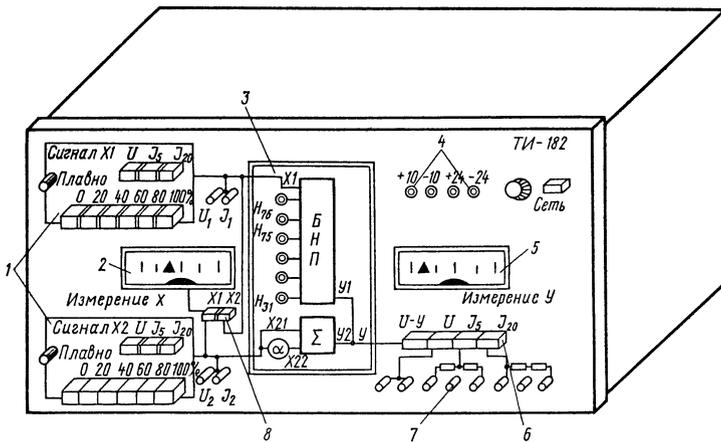


Рис. 126. Тестер-испытатель ТИ-182:
1, 6 — узлы управления, 2, 5 — приборы, 3 — коммутационная вставка, 4 — гнезда, 7 — зажимы, 8 — переключатель

Рис. 127. Приставка для проверки РЗД и БРУ:
 1 — переключатель, 2 — вольтметр, 3 — кнопки,
 4 — светодиоды, 5 — ИРН

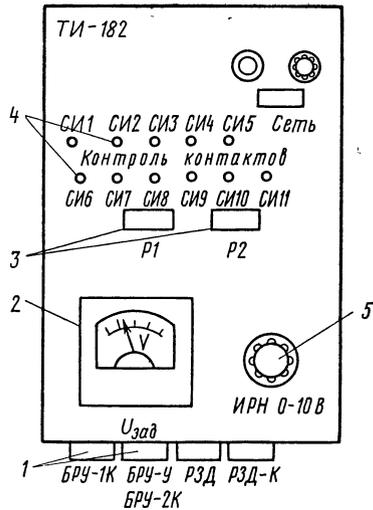
пряжения на выходах логических устройств. Гнезда 4 позволяют измерить внешним прибором значения опорных напряжений. Выходной сигнал U измеряют прибором 5, а выбирают род измерения с помощью узла управления 6. При необходимости измерения U с высокой точностью к зажимам 7 подключают внешний прибор.

В комплект ТИ-182 входит приставка (рис. 127) для проверки устройств оперативного управления РЗД и БРУ. Выбирают схему проверки переключателем 1. Для проверки РЗД предусмотрен вольтметр 2. Переключают режимы работы блоков БРУ кнопками 3, а контролируют состояния контактов — светодиодами 4. ИРН 5 служит для проверки указателей блоков БРУ-У.

Для проверки вторичных приборов, регуляторов и функциональных блоков пневмоавтоматики используют *переносный пневматический стенд ЛТ-40*. Стенд, как правило, входит в комплект рабочих мест для проверки пневмоавтоматики. На стенд подают питание от сети сжатого воздуха давлением до 0,6 МПа. С помощью редуктора 1 (рис. 128) по манометру 2 на входы трех датчиков 6 давления, рукоятки которых выведены на лицевую панель, подается питание сжатым воздухом с давлением 0,14 МПа. С помощью датчиков на три группы пневморазъемов 3 может быть подано давление в диапазоне 0,02—0,1 МПа, которое контролируют по образцовым манометрам, подключенным к штуцерам 5. При измерении давления внешний источник подключают к клеммам в линии штуцера 5. В комплект стенда входят стойки для крепления регуляторов и функциональных блоков и шланги с пневмостекерами для сборки проверочных схем.

Для проверки элементов УСЭППА при наладке устройств пневмоавтоматики применяют *универсальную плату* (рис. 129). Плата 1 выполнена из листового оргстекла, в котором высверлены отверстия 2 для соединения камер проверяемого элемента с каналами 3 и штуцерами 4. Отверстия 5 служат для закрепления элемента винтами, а 6 — для сброса сжатого воздуха из выпускных сопел. Схемы проверки элементов конкретных типов собирают с помощью резиновых шлангов, входящих в комплект стенда ЛТ-40.

Для определения АФЧХ АСР применяют полуавтоматические анализаторы частотных характеристик типа УНР и АЧХ-176 для электрических и ПАО для пневматических АСР или простые генераторы колебаний. Такие анализаторы позволяют определять АФЧХ для диапазона рабочих частот системы и затем расчетными или поисковыми методами выбирать необходимые значения настройки регуляторов. Анализаторы содержат, как правило, генераторы колебаний с регулируемой частотой и узлы из-



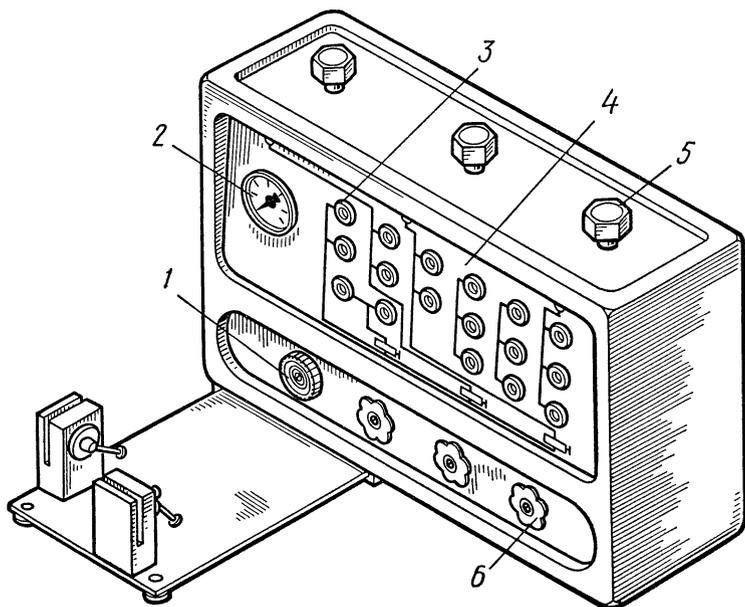


Рис. 128. Пневматический стенд ЛТ-40:
 1 — редуктор, 2 — манометр, 3 — клеммы, 4 — панель, 5 — штуцер, 6 — датчики

мерения амплитуды и сдвига фаз между входными и выходными колебаниями. Рассмотрим простейшее из этих устройств — *полуавтоматический генератор*, который поддерживает в разомкнутой системе колебания при критической частоте (сдвиг фаз между входным и выходным колебаниями 180°). Генератор применяют для настройки пневматических АСР. Для размыкания АСР регулятор снимают с разъема *IX* вторичного прибора (см. рис. 65) и устанавливают в разъем *I* (рис. 130) устройства. Вилку 2 с гибкими трубками вставляют в разъем *IX* (см. рис. 65). При этом $p_{\text{вых}}$ регулятора поступает на вход устройства, а его $p_{\text{вых}}$ подается в линию на ИМ пневматической АСР.

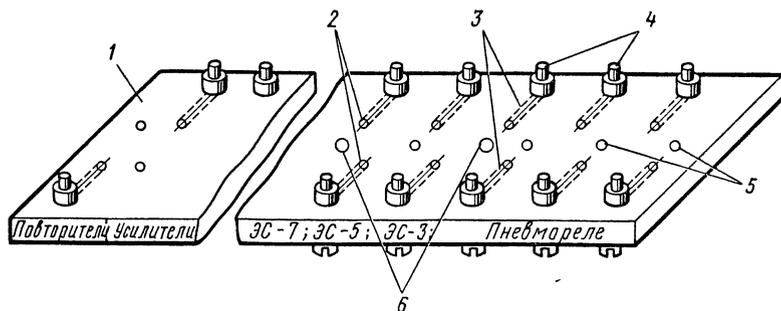


Рис. 129. Плата для проверки элементов УСЭПА:
 1 — плата, 2, 5, 6 — отверстия, 3 — каналы, 4 — штуцеры

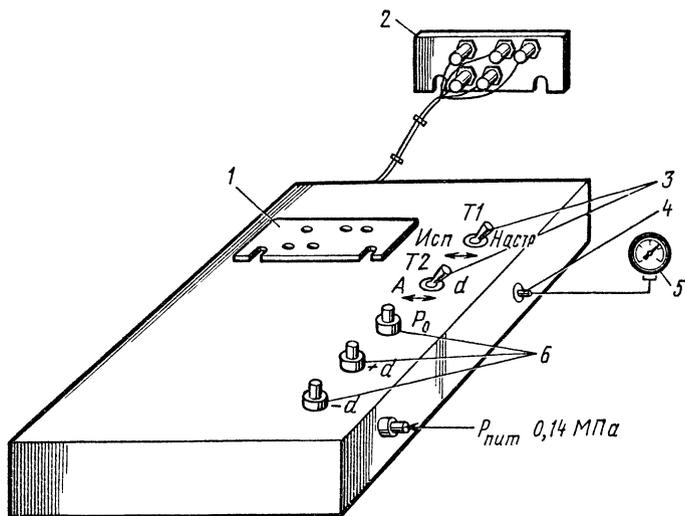


Рис. 130. Полуавтоматический генератор:
 1 — разъем, 2 — вилка, 3 — переключатели, 4 — гнездо, 5 — манометр,
 6 — рукоятки

На панель устройства выведены рукоятки 6 задатчиков: p_0 — для установки среднего значения колебаний, $+d$ и $-d$ — для регулировки их амплитуды. С помощью тумблера $T1$ выбирают режим работы устройства, «Исп. настр.», а тумблером $T2$ подключают внешний образцовый манометр 5 к гнезду 4 в режим измерения входного или выходного давления.

При ПНР кроме рассмотренного оборудования и устройств широко применяют пневматические зажимы и штуцеры для подключения приборов и датчиков при проверке, различного рода стойки, подставки, рамы для установки преобразователей и приборов, специализированные жгуты проводов или трубок для сборки проверочных схем.

Глава XVIII

СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

§ 51. Системы с термопреобразователями сопротивления

Системы измерения температуры, основанные на изменении сопротивления металлов при изменении температуры (см. § 19), просты и надежны. Их широко применяют при автоматизации технологических процессов.

Рассмотрение проектной документации. В результате изучения проектной документации наладчику известно следующее: диапазон изменения температуры в заданной точке (технологического процесса, аппарата, агрегата), требуемая точность измерения, состав системы (тип термопреобразователя сопротивления (§ 19) и вторичного прибора, номинальная статическая характеристика), условия измерения в месте установки вторичного прибора и характеристика измеряемой среды.

Правильность выбора термопреобразователя и его статической характеристики проверяют по табл. 14. Например, ТСМ 100 М нельзя измерять температуру выше 200 °С, а ТСП 1П невозможно измерить температуру ниже минус 50 °С.

Таблица 14. Технические характеристики преобразователей сопротивления ТСП и ТСМ

Номинальное сопротивление при 0 °С, Ом	Условное обозначение номинальной статической характеристики преобразования	Диапазон измеряемых температур, °С
Т С П		
1	1П	— 50...+ 1100
5	5П	— 100...+ 1100
10	10П	— 200...+ 1000
50	50П	— 260...+ 1000
100	100П	— 260...+ 1000
500	500П	— 260...+ 300
Т С М		
10	10М	— 50...+ 200
50	50М	— 50...+ 200
100	100М	— 200...+ 200

Термопреобразователь сопротивления измерит температуру в установленной проектом точке (трубопровода, аппарата или машины) в том случае, если эта точка расположена на расстоянии от фланца или штуцера термопреобразователя, которое меньше монтажной длины на 50—55 мм. Поэтому наладчик по справочнику определяет монтажную длину выбранного термопреобразователя и проверяет, соблюдено ли это условие при монтаже.

Для проверки правильности выбора вторичного прибора наладчик сравнивает его статическую характеристику с характеристикой термопреобразователя. Характеристики вторичного прибора и термопреобразователя должны быть одинаковыми.

Диапазон измерения вторичного прибора должен обеспечить измерение номинального значения температуры в пределах 40—80 % отклонения указателя. Диапазоны измерения вторичных приборов установлены ГОСТ 8.157—75. Например, для вторичных приборов, работающих с ТСП 100П, они составляют 0—300; 0—400; 0—500; 0—650; 300—650 °С.

Определение соответствия выбранной системы контроля требованиям к точности ее работы поясним на примере.

Пример. Проектом предусмотрено измерять температуру свода печи с точностью до 4 °С при среднем значении температуры около 500 °С. Для этой цели применена система контроля температуры, состоящая из ТСП 100П и логометра с диапазоном измерения 0—650 °С и классом точности 1. Очевидно, что требуемая точ-

ность измерения не будет обеспечена, так как гарантируемая точность измерения не выше $500 \pm 6,5$ °С, и, следовательно, необходимо выбрать в качестве вторичного прибора тот же логометр, но с пределом измерений 300—650 °С.

Большинство мостов и логометров обеспечивает нормальную работу при диапазоне изменения температуры окружающего воздуха 5—50 °С и влажности до 80 %. С учетом этого определяют требования к помещениям для установки приборов.

Защитная арматура должна соответствовать параметрам и техническим характеристикам измеряемых сред. Например, для измерения температуры кислот ее выполняют из кислотостойкой стали.

Предмонтажную проверку мостов и логометров выполняют в последовательности, изложенной в § 43.

Электрическое сопротивление изоляции проверяют мегомметром с номинальным напряжением до 1000 В. Испытательное напряжение включают между корпусом и измерительной цепью (цепями) и, наконец, между отдельными измерительными цепями. Сопротивление изоляции должно быть не менее 40 МОм между силовыми и измерительными цепями и корпусом и не менее 20 МОм между измерительными цепями.

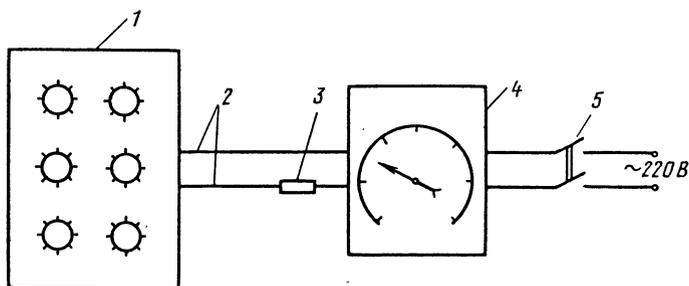


Рис. 131. Проверочная схема автоматического моста:

1 — образцовый магазин сопротивлений, 2 — соединительные провода, 3 — резистор 50 м, 4 — измерительный прибор, 5 — ключ

Для проверки основной погрешности собирают проверочную схему (рис. 131). В качестве имитатора и измерителя сопротивления применяют магазин сопротивлений 1, позволяющий установить сопротивление с точностью до 0,001 Ом. Магазин соединяют с измерительным прибором 4 медными проводами 2 сечением не менее 1,5 мм² и длиной около 1 м. В соединительную линию включают резистор 3, сопротивление которого указывается на шкале проверяемого прибора. Монтируют проверочную схему при выключенном источнике питания (ключ 5 разомкнут).

Рассмотрим определение основной погрешности на примере проверки моста КСМЗ (100П, предел измерения 0—500 °С, класс точности 0,5) и логометра Щ69000 той же характеристики с тем же пределом измерения.

Для термопреобразователей сопротивлений различных характеристик составлена зависимость сопротивления термопреобразователя от температуры, в которой находится его чувствительный элемент. Для рассматриваемого случая эта зависимость имеет следующий вид:

$t, ^\circ\text{C}$	0	20	40	60	80
$R, \text{Ом}$	100,00	107,919	115,791	123,616	131,388
$t, ^\circ\text{C}$	100	120	140	160	180
$R, \text{Ом}$	139,113	146,792	154,423	162,007	169,544
$t, ^\circ\text{C}$	200	220	240	260	280
$R, \text{Ом}$	177,083	184,475	191,873	199,221	206,523
$t, ^\circ\text{C}$	300	320	340	360	380
$R, \text{Ом}$	213,799	221,988	228,151	235,267	242,336
$t, ^\circ\text{C}$	400	420	440	460	480
$R, \text{Ом}$	249,358	256,333	263,260	270,142	276,975
$t, ^\circ\text{C}$	500				
$R, \text{Ом}$	283,760				

Определим выполнение условия пригодности образцового магазина сопротивления МСР-63 для проверки моста КСМЗ. Для входного сигнала диапазон измерения (нормирующее значение)

$$x_{\text{нр}} = x_{500} - x_0 = 283,760 - 100,00 = 183,760 \text{ Ом.}$$

Предел допускаемой основной погрешности магазина сопротивления $\delta = \pm(0,05 + 0,02m/R)$, где m — число включенных декад; R — сопротивление. Для максимального значения температуры 500°C абсолютная погрешность

$$\Delta_0 = (0,05 + 0,02 \cdot 5/183,760) \cdot 183,760 = 0,0237 \text{ Ом.}$$

Соотношение $(\Delta_0/x_{\text{нр}}) 100\% \leq (1/C)\delta_{\text{п}}$ будет иметь вид $(0,0237/183,760) 100 \leq (1/3) 0,5$, или $0,059 < 0,166$. Таким образом, условие пригодности выполнено и магазин пригоден для проверки.

Для проверки моста КСМЗ (рис. 132, а) магазин сопротивления подключают к зажимам А, В, С, а источник питания — к зажимам 5, 6, 7

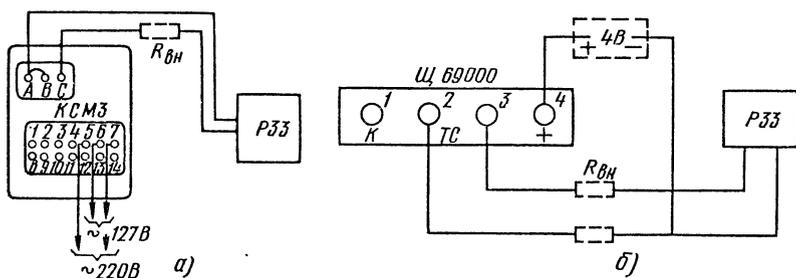


Рис. 132. Схема внешних соединений при проверке моста КСМЗ (а) и логметра Щ 69000 (б)

прибора. Соединение зажимов *A* и *C* с магазином, а также перемычку между зажимами *A* и *B* выполняют коротким медным проводом сопротивлением, близким к нулю.

Требования к соединительным цепям проверочной схемы логометра Щ69000 (рис. 132, б) те же.

Для упрощения проверочных схем резистор $R_{вн}$, который имитирует сопротивление внешней линии, исключают и значения сопротивлений, соответствующие проверяемой температуре на каждой точке, увеличивают на значение $R_{вн}$, которое в рассматриваемом случае равно 5 Ом.

После подачи питания и прогрева приборов магазином сопротивления стрелку проверяемого прибора последовательно устанавливают на значения температуры 0; 100; 200; 300; 400 и 500 °С, а затем в обратной последовательности. Значения сопротивлений, соответствующие этим значениям температуры, заносят в протокол проверки основной погрешности. На каждой точке вычисляют основную погрешность проверяемого прибора

$$\gamma = \{ [R - (R_0 - R_{вн})] / (R_k - R_n) \} 100 \%,$$

где R определяют по зависимости R от t (стр. 201); R_0 — отсчет по магазину сопротивления, Ом; $R_{вн}$ — сопротивление линии (5 Ом); R_n и R_k — сопротивления, соответствующие начальной и конечной отметкам шкалы (0 °С — 100,0 Ом; 500 °С — 283,760 Ом). Основная погрешность для любой точки должна быть не более 0,5 %. Вариация прибора, т. е. разница между R_0 при прямом и обратном ходе, не должна превышать 0,25 %.

Для моста КСМЗ $\Delta \leq (283,760 - 100) \cdot 0,005 = 0,4595$ Ом, а вариации $B \leq (283,760 - 100) \cdot 0,0025 = 0,2297$ Ом.

Скорость продвижения диаграммы или диаграммной ленты проверяют по секундомеру, как правило, она должна отличаться от заданной не более чем на 0,5 %.

При проведении предмонтажной проверки многоточечных автоматических мостов проверяют работу печатающего устройства и скорость печатания прибора с помощью специального приспособления (рис. 133), которое ускоряет проверку.

Приспособление подключают к колодке зажимов моста вместо термопреобразователей сопротивления с помощью проводов 1, 2, ..., n . Предел измерения моста ($R_k - R_n$) делят на число точек измерения и полученный результат r устанавливают на переменных резисторах $R_1 = r$, $R_2 = 2r$, ..., $R_n = nr$. При включении в работу мост последовательно печатает значения температуры, соответствующие установленным сопротивлениям.

Проверку монтажа систем контроля температуры с применением мостов и логометров выполняют в определенной последовательности. Проверяют осмотром правильность установки преобразователя на трубопроводе или аппарате. Если диаметр трубопровода менее 400 мм, термометр

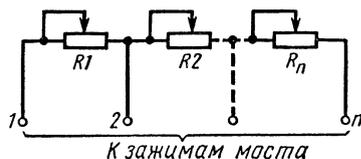


Рис. 133. Схема приспособления для проверки печатающего устройства многоточечных автоматических мостов

сопротивления устанавливают на его изгибе и ось преобразователя направляют против потока измеряемой среды. Преобразователь должен быть уплотнен в соединительном штуцере. Конец чувствительного элемента должен выступать за точку, в которой измеряют температуру, на расстояние около 50 мм. К установленным на оборудовании преобразователям должен быть обеспечен свободный и безопасный доступ.

Соединительные линии систем выполняют протягиваемым в защитных трубах кабелем или проводом с сечением жил не менее $1-1,5 \text{ мм}^2$.

Если термопреобразователи сопротивления устанавливают на аппаратах и трубопроводах, находящихся во взрывоопасных помещениях, вторичные приборы должны быть искробезопасного исполнения. В помещениях классов В1 и В1а не допускается монтировать соединительные линии проводом сечением менее $1,5 \text{ мм}^2$, а также проводами или кабелями в полиэтиленовой изоляции. Крышки защитной арматуры на преобразователях должны быть затянуты полным комплектом винтов или болтов. Если автоматический мост (или любой другой прибор) общепромышленного исполнения установлен в невзрывоопасном помещении, а работает с преобразователями, установленными во взрывоопасной среде, то на лицевой стороне моста должно быть обозначение «Вход И/4Т5», что означает — входная цепь искробезопасна для смесей 4-й категории, 5-й группы и других менее взрывоопасных, а на обратной стороне — «Вход — искробезопасная цепь». Оболочки кабелей и трубы надежно заземляют. В кабелях или трубах для измерительных цепей нельзя прокладывать силовые цепи питания.

Термопреобразователи сопротивления соединяют с вторичными приборами по двух- или трехпроводной схеме. Двухпроводную схему (рис. 134, а) применяют при постоянной температуре в местах прокладки линии. Питающий провод подключают к началу линии *a*.

Если температура в местах прокладки линий изменяется (например, при прокладке на открытом воздухе), применяют трехпроводную схему

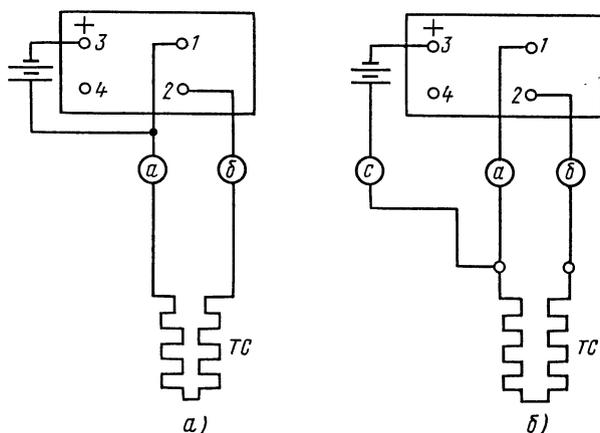


Рис. 134. Двух- (а) и трехпроводная (б) схемы подключения термопреобразователей сопротивления

(рис. 134, б) для компенсации погрешности контроля температуры. В этом случае питающий провод *c* подсоединяют непосредственно к термопреобразователю сопротивления и линии *a* и *b* оказываются включенными в смежные плечи моста, при этом одновременное и равное изменение сопротивления линий на равновесие моста не влияет.

При монтаже вторичных приборов проверяют соответствие условий измерения в месте их установки требуемым. Все соединительные провода должны быть замаркированы, а зажимы «Земля» на корпусах приборов подсоединены к контурам заземления. Схемы электрического питания вторичных приборов должны иметь предохранители и индивидуальные коммутирующие аппараты.

Мосты и логометры измеряют сопротивление, поэтому важным этапом является подгонка сопротивления соединительной линии $R_{вн}$ до номинального значения, которое равно 5 или 15 Ом; допустимое отклонение не более 0,01 Ом. Для систем измерения с низкоомными термометрами это требование более жесткое.

При двухпроводной схеме подключения для подгонки отключают концы линии от термопреобразователя, надежно закорачивают их и измерительным мостом измеряют сопротивление шлейфа. Недостающее до номинального сопротивление компенсируют, наматывая манганиновый провод на специальную подгоночную катушку, которую устанавливают последовательно с линией. Катушку и винты на сборках зажимов щитов и коробок, через которые проходят соединительные линии, затягивают, чтобы обеспечить надежный контакт.

При трехпроводной схеме подключения попарно измеряют сопротивления между концами проводов (все три провода у термопреобразователя сопротивления закорочены), после чего определяют сопротивление каждого измерительного провода:

$$R_a = [(R_a + R_b) + (R_a + R_c) - (R_b + R_c)]/2; \quad R_b = [(R_a + R_b) - (R_a + R_c) + (R_b + R_c)]/2,$$

где R_a и R_b — сопротивления измерительных проводов; R_c — сопротивление питающего провода. Определив R_a и R_b , подбирают такие сопротивления подгоночных катушек в линиях *a* и *b*, чтобы сопротивление каждого провода вместе с подгоночной катушкой было равно половине номинального сопротивления линии.

Проверка элементов систем. Выполняет ее, как правило, звено из двух наладчиков, один из которых находится у термопреобразователя сопротивления, а другой — в центральном пункте управления (ЦПУ). Термопреобразователь сопротивления отключают от линии, а вместо него подключают магазин сопротивлений. Наладчик, находящийся у ТС, имитирует сопротивления, соответствующие 0; 50 и 100 % (по градуировочным таблицам) диапазона измерения системы, а наладчик в ЦПУ регулирует чувствительность усилителя моста. Чувствительность считается нормальной, если стрелка прибора после резкого изменения сопротивления магазина делает не более двух-трех полуколебаний и останавливается. Если по всей шкале наблюдается равномерное завышение или занижение измеряемых значений, регулируют нуль прибора механическим смещением стрелки или пера относительно начального уровня.

За 50—70 ч до включения приборов на действующем оборудовании рекомендуется подать электрическое питание на вторичные приборы, а регистрирующие приборы включить на запись или печать. Это позволит до пуска обнаружить неисправности аппаратуры, не выявленные в процессе предмонтажной проверки. При этом крышки и соединения должны быть закрыты или затянуты.

Пуск системы. После включения приборов в работу на действующем оборудовании проверяют точность измерения по показаниям установленных по месту ртутных термометров или по данным расчетов. Отклонение стрелки вторичного прибора на максимум до упора свидетельствует об обрыве внутренних или внешних измерительных цепей. В этом случае на вход прибора подключают магазин сопротивления и проверяют исправность моста или логометра. Если они исправны, необходимо найти обрыв во внешних цепях. Чаще всего обрыв цепи появляется в местах соединения кабелей в переходных коробках, на зажимах щитов и самих термометров.

Если система не реагирует на изменение температуры (стрелка остается на нулевой отметке), а установлено, что вторичный прибор исправен, необходимо найти короткое замыкание во внешних цепях.

Причинами заниженных или завышенных по сравнению с расчетными показаний приборов могут быть отклонения сопротивления линии от номинального, негерметичность уплотнения и подсос наружного воздуха в месте установки термопреобразователя сопротивления.

Снижение чувствительности прибора, как правило, является следствием влияния электрических и магнитных полей на соединительные линии. В этом случае проверяют качество заземления защитных труб, экранов и приборов.

В период пуска при необходимости проверить состояние или характеристики термопреобразователей сопротивления, установленных во взрывоопасном помещении, вскрывают их и разгерметизируют только после полного снятия напряжения с вторичного прибора и принятия мер, исключающих случайную подачу напряжения.

Сдаточные испытания по рассматриваемым системам, как правило, не проводят. Системы контроля сдают по результатам их удовлетворительной непрерывной работы в течение трех или более суток.

§ 52. Системы с термоэлектрическими преобразователями

Правильность выбора элементов системы контроля температуры определяют с учетом того, что для различных типов термоэлектрических преобразователей существуют границы возможного диапазона измерения (табл. 15).

Зная требуемый диапазон измерения температуры, характеристики и типы элементов системы (по спецификации), определяют правильность выбора аппаратуры и методы измерений. Максимальную точность, с которой будет измерена температура, ориентировочно определяют по формуле

$$\Delta = [(T_k - T_n)/100] \cdot \kappa,$$

Т а б л и ц а 15. Технические характеристики термоэлектрических преобразователей (ГОСТ 3044—77)

Термопреобразователь	Градуйровочная характеристика	Материал термоэлектродов	Предел измерения °С, при применении	
			длительном	кратковременном
Т П П	ПП-1	Платинородий (10 % родия) — платина	— 20 — 1300	1600
Т П Р	ПР-30/6	Платинородий (30 % родия) — платинородий (6 % родия)	300 — 1600	1800
Т Х А	Х А	Хромель — алюмель	— 50 — 1000	1300
Т Х К	Х К	Хромель — копель	— 50 — 600	800

Т а б л и ц а 16. Термоэлектродвижущая сила термоэлектродпреобразователя, мВ, в зависимости от температуры рабочих коцов. Градуировка ХК (хромель — копель) по ГОСТ 3044—77

Температура, °С	Температура, °С										Температура, °С	
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90		
—	—	0,640	—1,270	—1,890	—2,500	—3,110	—	—	—	—	—	—
0	0	0,646	1,303	1,976	2,658	3,350	4,050	4,760	5,469	6,179	0	0
100	6,898	7,627	8,366	9,115	9,865	10,624	11,393	12,172	12,961	13,760	100	100
200	14,570	15,380	16,200	17,030	17,860	18,690	19,520	20,360	21,200	22,040	200	200
300	22,880	23,720	24,560	25,410	26,270	27,130	28,000	28,870	29,740	30,610	300	300
400	31,480	32,350	33,230	34,110	34,950	35,870	36,750	37,630	38,510	39,390	400	400
500	40,16	41,150	42,030	42,910	43,790	44,670	45,550	46,440	47,330	48,210	500	500
600	49,090	49,970	50,850	51,730	52,610	53,480	54,350	55,220	56,090	56,960	600	600
700	57,820	58,680	59,540	60,400	61,260	61,120	62,980	63,840	64,700	65,560	700	700
800	66,420	—	—	—	—	—	—	—	—	—	800	800

где Δ — допустимое значение абсолютной погрешности, °С; T_k и T_n — конечная и начальная отметки шкалы вторичного прибора °С; k — класс точности вторичного прибора.

Тип преобразователя, монтажная длина (глубина погружения), материал и исполнение защитного чехла должны отвечать требованиям проекта и соответствовать параметрам измеряемой среды (давлению, химическому составу и др.).

После внешнего осмотра и измерения электрической изоляции собирают проверочную схему для определения основной погрешности аппаратуры.

Проверим пригодность образцового потенциометра типа ПП-63 для проверки КСПЗ с характеристикой ХК, классом точности 0,5 и диапазоном измерения 0—100 °С (фрагмент характеристики преобразования приведен в табл. 16). Нормирующее значение напряжения $x_{нр} = U_k - U_n = 6,898$ мВ, а предел допускаемой погрешности образцового прибора (см. § 49)

$$\Delta_0 = \pm(5 \cdot 10^{-4} U + 0,5 U_{\min}) = (5 \cdot 10^{-4} \cdot 6,898 \cdot 10^{-3} + 0,5 \cdot 2,5 \cdot 10^{-5}) = 1,59 \cdot 10^{-5} \text{ В,}$$

или $0,0159$ мВ. Условие будет иметь вид

$$(0,0159 \cdot 100) / 6,898 \leq (1/3) \cdot 0,5, \text{ или } 0,23 > 0,166,$$

т. е. не будет соблюдено. Необходимо применить для проверки более точный образцовый потенциометр, например Р348.

Для потенциометра того же типа и класса, но с диапазоном измерения $0-600^\circ\text{C}$ предел допускаемой основной погрешности прибора ПП-63 $\Delta_0 = \pm (5 \cdot 10^{-4} \cdot 49,090 \cdot 10^{-3} + 0,5 \cdot 5 \cdot 10^{-5}) = 4,951 \cdot 10^{-5} = 0,04951$ мВ. Условие $(0,04951 / 49,090) \cdot 100 \leq (1/3) \cdot 0,5$, или $0,101 < 0,166$ соблюдено, и потенциометр ПП-63 пригоден для проверки.

В общем случае для проверки потенциометров классов точности 0,25 и узкопредельных (например, $0-100^\circ\text{C}$) класса точности 0,5 необходимо применять образцовые потенциометры Р37/1, Р348 или Р363.

Образцовый потенциометр 1 (рис. 135) проводами 2 соединяют с потенциометром 3, в качестве которого рассматривается потенциометр типа

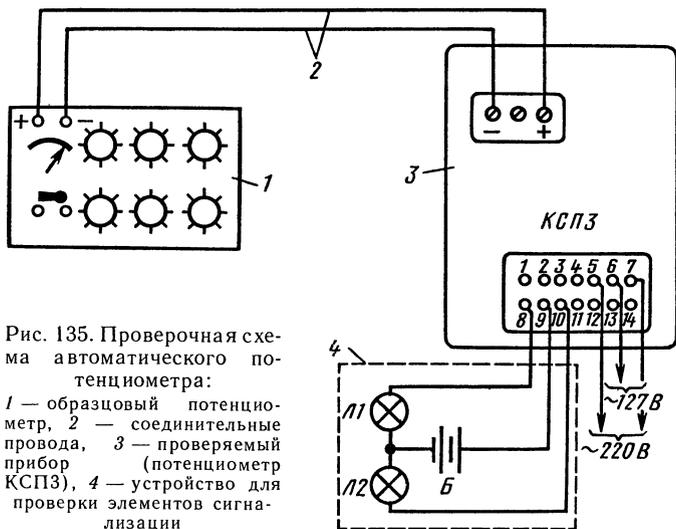
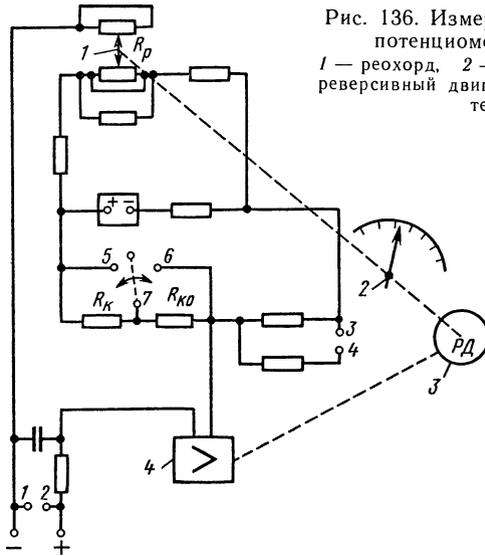


Рис. 135. Проверочная схема автоматического потенциометра:
 1 — образцовый потенциометр, 2 — соединительные провода, 3 — проверяемый прибор (потенциометр КСПЗ), 4 — устройство для проверки элементов сигнализации

КСПЗ, входящий в ГСП. Перед проверкой подготавливают к работе измерительную схему прибора (рис. 136). Перемычку в измерительном блоке устанавливают между зажимами 5 и 7 («Градуировка»), а тумблер на блоке — в положение «Контроль» (контакты 1—2 и 3—4 разомкнуты). При этом стрелка прибора должна остановиться на проверочной точке в районе середины шкалы. Затем тумблер на блоке переключают в положение «Работа». Когда перемычка находится в положении «Градуировка», резистор R_k , компенсирующий изменение температуры холодных концов преобразователя, оказывается зашунтированным и градуировка ведется при нулевой температуре холодных концов (резистор $R_{к0}$). Путем увеличения напряжения на образцовом потенциометре 1 (см. рис. 135) стрелку вторичного прибора последовательно устанавливают на оцифрованных отметках шкалы, соответствующих 0, 20, 40, ..., 100 % диапазона измерения

Рис. 136. Измерительная схема
потенциометра КСПЗ:
1 — реохорд, 2 — указатель, 3 —
реверсивный двигатель, 4 — усили-
тель



прибора, а затем в обратном направлении. Показания образцового прибора в том и в другом случае записывают в протокол предмонтажной проверки.

В тот же протокол заносят действительные значения э. д. с., соответствующие данной температуре, которые определяют по градуировочным таблицам. Например, для потенциометра КСПЗ градуировочной характеристики ХК со шкалой 0—600 °С будут иметь значения (в табл. 16 выделены жирным шрифтом), соответствующие температурам 0; 120; 240; ...; 600 °С.

После проведения измерений рассчитывают основную погрешность прибора:

$$\gamma = [(E - E_0) / (E_k - E_n)] \cdot 100\%,$$

где E — значение э. д. с., соответствующее проверяемой точке по градуировочной таблице, мВ; E_0 — показания образцового прибора, мВ; E_k и E_n — значения э. д. с., соответствующие концу и началу шкалы проверяемого прибора, мВ.

Вариация прибора

$$B = \frac{E_n - E_{об}}{E_k - E_n} \cdot 100\%,$$

где E_n и $E_{об}$ — показания образцового прибора при прямом или обратном подходе к проверяемой точке.

Прибор считается исправным, если наибольшая основная погрешность меньше класса точности прибора, а наибольшая вариация меньше ее допустимого значения. Например, для потенциометров КСПЗ вариация допускается не более 0,25 % от диапазона измерения прибора.

В тех случаях, когда в проверяемом приборе отсутствует переключатель «Проверка — работа» (например, КСП4), собирают проверочные схемы (рис. 137).

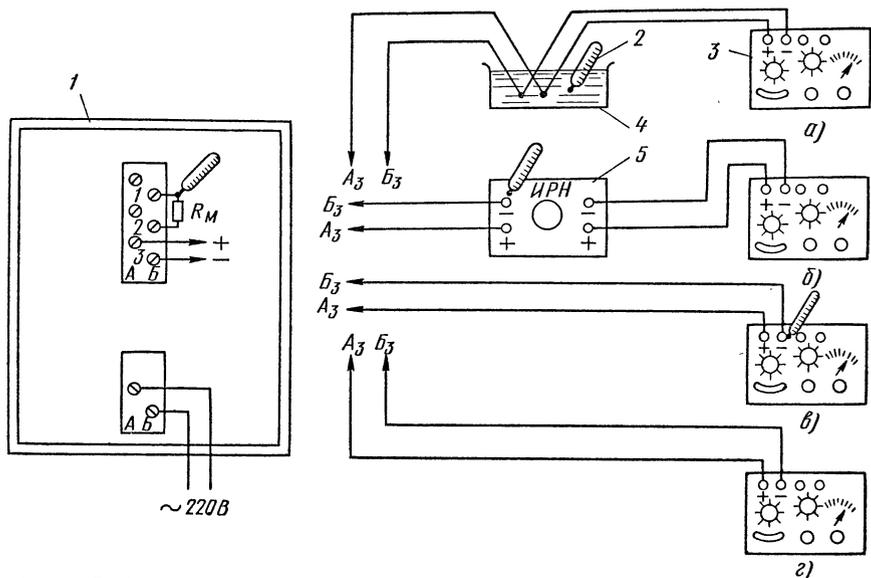


Рис. 137. Варианты схем для проверки автоматических потенциометров с термостатированием (а), ИРН (б), компенсационными (в) и медными (г) проводами: 1 — проверяемый прибор, 2 — образцовый термометр, 3 — образцовый потенциометр, 4 — сосуд со льдом (термостат), 5 — ИРН

Так, для проверки потенциометра класса точности 0,25 (рис. 137, а) соединительную линию от термостата 4 (сосуд со льдом) прокладывают компенсационными проводами. Температура в месте соединения компенсационных проводов с медными, подключаемыми к образцовому потенциометру, должна быть равна нулю, в чем убеждаются по показаниям образцового термометра 2 типа ТЛ-4 или ТЛ-2. Эта схема обеспечивает высокую точность проверки, потому что температура в термостате практически постоянна и поправку на ее отклонение от нулевой легко ввести в расчет. Кроме того, в этом случае (при $t=0\text{ }^{\circ}\text{C}$) табл. 16 можно пользоваться без корректировки.

Для проверки потенциометров класса точности 0,5 с помощью высокоомных образцовых приборов собирают схему по рис. 137, б. В этом случае проверяемый прибор 1 с соблюдением полярности компенсационными проводами соединяют с источником регулируемого напряжения ИРН. Образцовый прибор соединяют с ИРН медными проводами. Свободные концы термопары, образованной при подсоединении компенсационных проводов к ИРН, будут приведены с помощью R_M к нулевой температуре. Поэтому воздействие на измерительную схему проверяемого прибора при сигнале ИРН, равном 0 мВ, эквивалентно э. д. с., развиваемой термоэлектропреобразователем, у которого горячие и холодные концы находятся при разных температур нулевой и измеренной термометром 2. Эта схема проще предыдущей, но при ее использовании приходится постоянно контролировать показания образцового термометра, так как внешние воздействия (движение в помещении, открытие дверей, окон) будут вызывать изменение температуры и необходимость корректировки задаваемого напряжения.

В этом случае напряжение, снимаемое с зажимов ИРН, должно быть меньшим, чем определенное по табл. 16, на э. д. с., соответствующую температуре, отсчитанной по образцовому термометру. Если образцовый потенциометр низкоомный, то для проверки потенциометра класса точности 0,5 собирают схему по рис. 137, в. Соединяют потенциометры компенсационными проводами и при проверке задаваемое напряжение уменьшают на величину, соответствующую э. д. с. термопреобразователя для измененной температуры.

Потенциометры с градуировочной характеристикой ПР нечувствительны к изменению температуры окружающего воздуха, поэтому линии связи (рис. 137, з) для этих приборов монтируют медными проводами.

С помощью медных проводов проверяют потенциометры и в тех случаях, когда контролируют температуру компенсационной катушки R_m . Эта схема имеет те же недостатки, что и схемы рис. 137, б и в.

Проверочная схема и операция задания напряжения упрощаются, если при проверке прибора заменить R_m на марганциновый резистор с сопротивлением, эквивалентным R_m при какой-либо фиксированной температуре. В этом случае при определении расчетного значения напряжения от табличного значения вычитают э. д. с., соответствующую этой фиксированной температуре. Еще удобнее заменить R_m на марганциновый резистор, эквивалентный ему при 0 °С. В этом случае расчетное значение температуры на проверяемой точке соответствует табличному. Данные таких резисторов приведены в табл. 17.

Т а б л и ц а 17. Значение сопротивлений R_m для различных температур

Градуировочная характеристика потенциометра	30 °С	20 °С**	0 °С*
Х А	5,42	5,34	4,76
Х К	9,02	8,52	7,96
П П	0,78	0,75	0,70

* Для КСП1 и КСП2.

** Для КСП4.

Для проверки сигнального устройства, встроенного в автоматический потенциометр КСПЗ (см. рис. 135), к зажимам 8,9 и 10 клеммной колодки подключают устройство 4, состоящее из источника питания Б и двух сигнальных Л1 и Л2 ламп. Профильный диск, расположенный на центральной оси прибора, устанавливают на какую-либо точку шкалы. Подводя стрелку показывающей части к сигнализируемому значению температуры, определяют момент замыкания и размыкания контактов. Изменением зазора между контактами сигнального устройства регулируют зону нечувствительности системы сигнализации, которая может изменяться в пределах от 0,5 до 3 % диапазона измерения прибора.

Для многоточечных автоматических потенциометров проверяют скорость печатания и скорость протяжки диаграммной ленты с помощью простого приспособления (рис. 138). На ИРН устанавливают напряжение, соответствующее полному диапазону изменения температуры, которое измеряют образцовым прибором. Провода устройства +, 1, 2, ..., n подключают к зажимам проверяемого прибора. Движки переменных резисторов устанавливают в такое положение, при котором напряжение на проводах 1, 2, ..., n последовательно увеличивается на примерно равные значения и для

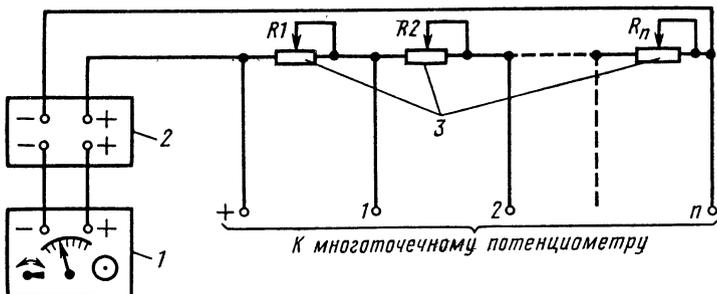


Рис. 138. Схема устройства для проверки многоточечных потенциометров: 1 — образцовый потенциометр, 2 — ИРН, 3 — переменные резисторы (подгоночные катушки)

точки n равно верхнему пределу измерения. При включении прибора на регистрацию на диаграммной ленте будут отпечатаны параллельные линии, каждая из которых соответствует какому-нибудь номеру проверяемой точки.

В отличие от автоматических потенциометров у пирометрических милливольтметров сопротивление изоляции измерительной системы прибора не проверяют. Для определения основной погрешности милливольтметров можно использовать помимо рассмотренной проверочную схему с использованием в качестве источника э. д. с. стандартного ИРН (рис. 139). $R_{вн}$ устанавливают равной значению, обозначенному на шкале прибора и включают в схему в виде магазина сопротивления или стандартной подгоночной катушки. В качестве образцового применяют образцовый потенциометр.

Перед проверкой на вход милливольтметра подают э. д. с., соответствующую началу шкалы, и стрелку прибора поворотом винта корректора устанавливают на нулевую отметку.

При проверке монтажа систем с термоэлектрореобразователями наладчики должны обращать внимание на факторы, вызывающие появление дополнительных погрешностей измерения. К ним относятся: неправильный выбор места установки преобразователя и отсутствие теплоизоляции; наличие неплотностей и подсосов воздуха в местах установки; снижение быстродействия из-за низкой теплопроводности защитной арматуры.

Так, термоэлектрореобразователь, установленный против потока измеряемой среды на изолированном участке трубопровода в изолированном штуцере, развивает э. д. с., соответствующую действительному значению температуры 250 °С (рис. 140). Тот же преобразователь, установленный

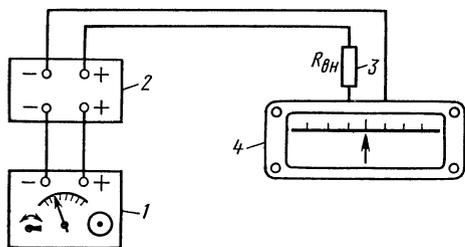
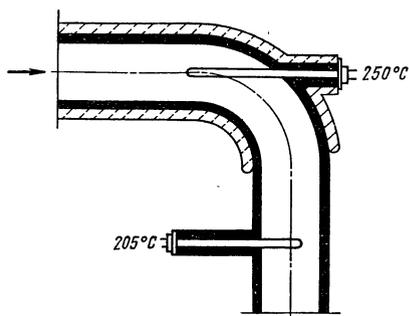


Рис. 139. Проверочная схема милливольтметра: 1 — образцовый прибор, 2 — ИРН, 3 — эквивалент сопротивления линии, 4 — проверяемый прибор

Рис. 140. Варианты установки термоэлектропреобразователей



перпендикулярно потоку на неизолированном участке, развивает э. д. с., соответствующую температуре 250 °С. Погрешность измерений, равная 45 °С, обуславливается рассеиванием теплоты как трубопроводом, так и массивным штуцером.

Плохо уплотненные преобразователи развивают заниженную по сравнению с действительным значением э. д. с. из-за подсосов холодного воздуха в местах их установки.

Для оценки предела допускаемой погрешности измерений для системы измерения температуры (или другой физической величины), состоящей из последовательно соединенных измерительных преобразователей и приборов, можно пользоваться формулой, выведенной на основании соотношений, использующихся в теории вероятностей.

Случайная составляющая погрешности $\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_n^2}$, где $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_n$ — составляющие инструментальной погрешности.

Если элементы системы имеют нормированные характеристики, то случайные составляющие погрешностей каждого элемента можно с доверительной вероятностью 0,997 считать равной $1/3$ его предела допускаемой основной погрешности.

Для случая наладки системы, состоящей из термоэлектрпреобразователя ХК, компенсационных проводов и КСПЗ класса точности 0,5 с диапазоном 0—600 °С, будем иметь значения пределов допускаемых погрешностей: Δ_n преобразователя — 0,380 мВ; Δ_k канала связи — 0,30 мВ; $\Delta_{пр}$ прибора — $0,005 \times 49,02 = 0,245$ мВ.

Суммарная погрешность системы

$$\begin{aligned} \sigma_c &= \sqrt{\left(\frac{1}{3} \Delta_n\right)^2 + \left(\frac{1}{3} \Delta_k\right)^2 + \left(\frac{1}{3} \Delta_{пр}\right)^2} = \\ &= \sqrt{\left(\frac{1}{3} \cdot 0,380\right)^2 + \left(\frac{1}{3} \cdot 0,30\right)^2 + \left(\frac{1}{3} \cdot 0,245\right)^2} = 0,18 \text{ мВ.} \end{aligned}$$

Предельное значение погрешности такой системы $\Delta_c = 3\sigma_c$. В единицах измерения температуры (табл. 17) эта погрешность будет соответствовать 8,2 °С.

Быстродействие термоэлектрпреобразователей снижается на 5—8 % при использовании защитной арматуры (рис. 141). Увеличение быстродействия обеспечивают применением высокотеплопроводных заполнителей гильз арматуры. В качестве заполнителей применяют глицерин — для отрицательных температур; компрессорное масло — до 200 °С и бронзовые или чугунные опилки — выше 200 °С.

Соединительные линии между термоэлектрпреобразователем и вторичным прибором выполняют, как правило, компенсационными проводами. Подключение к линии должно соответствовать полярности термо-

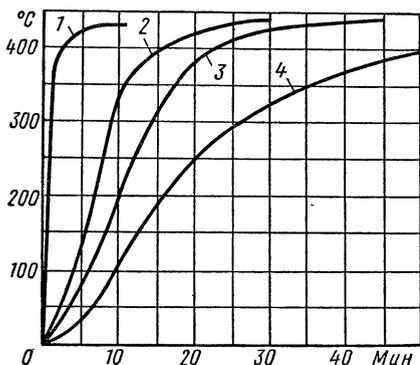


Рис. 141. График быстрого действия термоэлектротермопреобразователей:
 1 — без арматуры, 2 — в карборундовой трубке, 3, 4 — в шамотной трубке соответственно диаметром 50 и 80 мм

электропреобразователя, а материал компенсационных проводов — его типу. Трассу системы прокладывают в трубах вдали от горячих поверхностей и от электрических проводов, обладающих сильными магнитными полями. Нельзя прокладывать компенсационные провода совместно с силовыми цепями.

Вторичные приборы, как правило, устанавливают на щитах. В помещении, где они установлены, не должно быть сильных магнитных полей и заметной вибрации, а температура должна находиться в пределах 5—50 °С.

При наличии устройств компенсации изменения температуры холодных спаев, вынесенных из прибора, резистор R_k должен быть заменен на манганиновую катушку, соответствующую сопротивлению медной катушки при нулевых условиях градуировки.

Перед опробованием пирометрических милливольтметров подгоняют линии до значения $R_{вн}$, указанного на шкале прибора. Методика подгонки линий аналогична подгонке линий к мостам и логометрам; существенным отличием является то, что в $R_{вн}$ входит внутреннее сопротивление термоэлектротермопреобразователя. Поэтому при замере сопротивления измерительного шлейфа для исключения погрешности преобразователь вынимают из защитной арматуры и располагают так, чтобы и горячий и холодный концы находились при одной и той же температуре.

Во время предпусковой проверки приборы включают на прогрев, а регистрирующие и многоточечные приборы — на регистрацию измеряемых параметров. Проверяют системы измерения подключением вместо преобразователей лабораторных потенциометров.

Перед включением в работу пирометрического милливольтметра входные зажимы его закорачивают и стрелку показывающей части устанавливают корректором на значение температуры в помещении, где установлен прибор. Наладка на действующем технологическом оборудовании сводится к обеспечению требуемой точности и надежности работы. Точность работы системы можно проверить по данным непосредственных измерений температуры в месте установки преобразователя. В случае обнаружения расхождений между расчетной или измеренной температурой и ее действительными значениями следует проверить исправность прибора и соблюдение полярности при подключении преобразователя к соединительной линии. Если полярность при подключении обратная, то в систему измерений будет внесена погрешность, равная температуре холодных концов термопары.

При проверке работы милливольтметров корректируют их показания с учетом температуры окружающей среды в месте установки приборов. Сни-

жение чувствительности прибора может быть вызвано плохой экранировкой цепи преобразователя или плохой экранировкой входа прибора. Уменьшают влияние помех установкой конденсаторов емкостью 0,25—1,0 мкф, которые шунтируют переменную составляющую, наводимую на преобразователь и линию, на землю.

Приборы сдают в эксплуатацию по результатам надежной и безаварийной работы в течение срока, оговоренного условиями на сдачу приборов.

§ 53. Системы с манометрическими термопреобразователями

Манометрические термометры широко применяют при автоматизации технологических процессов, особенно в химической и нефтехимической промышленности, так как их конструкции характеризуются взрыво- и пожаробезопасностью. При анализе проектной документации следует иметь в виду, что манометрические термометры предназначены для измерения температур в диапазоне -60 — $+400$ °С, их класс точности обычно не выше 1. Длина капилляра лежит в пределах 1—20 м (иногда до 40 м). На основании этих данных определяют правильность выбора системы. При измерении температур агрессивных сред или сред с давлением свыше 6,4 МПа термобаллон помещают в защитную гильзу.

При необходимости передачи показаний на значительное расстояние в проекте автоматизации предусматривают манометрические устройства с встроенным пневматическим (ТДЖ-П и ТДГ-П) или электрическим (ТДЖ-Э и ТДГ-Э) преобразователем.

При проведении внешнего осмотра особое внимание обращают на состояние капилляра термопреобразователя: на нем не должно быть видимых механических повреждений и перегибов, места впайки капилляров в термобаллон и вторичный прибор должны быть без повреждений. Радиус бухты, в которую свернут капилляр, должен быть не менее 300 мм.

Определение работоспособности прибора, а также методику наладки системы контроля рассмотрим на примере наладки газового манометрического термопреобразователя ТДГ-П со шкалой 0—100 °С, работающего в комплекте с вторичным показывающим прибором «Старт» типа ПВ1.3. Оба проверяемых прибора относятся к унифицированной системе, поэтому пневмопреобразователь и вторичный прибор проверяют порознь.

Для проверки ТДГ-П собирают схему (рис. 142). В качестве имита-

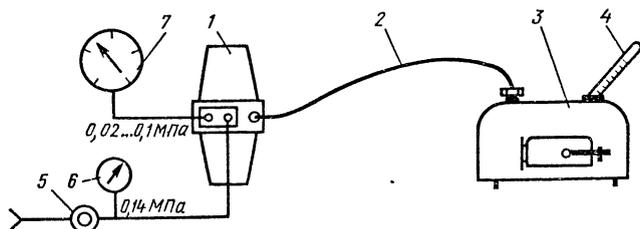


Рис. 142. Схема проверки манометрического термометра:
1 — проверяемый прибор, 2 — капилляр, 3 — термостат, 4 — образцовый термометр, 5 — редукционный пневмоклапан, 6 — технический манометр 0—0,14 МПа, 7 — образцовый манометр 0,02—0,1 МПа

тора температуры применяют термостат 3 или муфельную печь с автоматическим поддержанием температуры, а в качестве образцового измерительного прибора и источника питания — элементы пневматического стенда ЛТ-40 и образцовый ртутный термометр 4. Давление питания, подаваемое на штуцер «Пит.» прибора 1, 0,14 МПа (одинаковое для всей пневматической ветви ГСП). К штуцеру «Выход» подключают образцовый манометр 7 с пределом измерения 0—0,16 МПа, установленный на стенде. Температуру в термостате измеряют термометром ТЛ-4 с $\Delta_{0,1} = 0,1^\circ\text{C}$.

Проверим выполнение условия для выбранных образцовых средств измерения. На значении $p_{\text{вых}} = 0,1$ МПа $\Delta_{0,2} = 0,0016$ МПа. Тогда

$$\left(\frac{\Delta_{01}}{x_{\text{нр. вх}}} + \frac{\Delta_{02}}{x_{\text{нр. вых}}} \right) \cdot 100 \% \leq \frac{1}{C} \delta_{\text{п}};$$

$$\left(\frac{0,1}{100} + \frac{0,0016}{0,1 - 0,02} \right) \cdot 100 \% \leq \frac{1}{4} \cdot 1,5;$$

$$0,3 < 0,375.$$

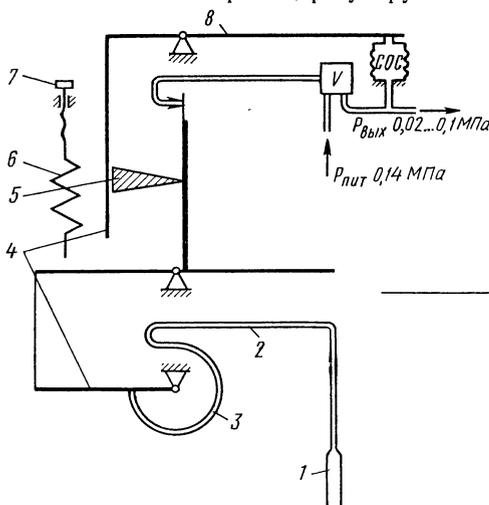
Следовательно, выбранные средства измерения пригодны для проверки преобразователя.

Пневмопреобразователи преобразуют значение измеряемой величины в пропорциональный пневматический сигнал в диапазоне 0,02—0,1 МПа. Зная диапазон прибора, определяют для любого значения измеряемой величины расчетное значение пневматического сигнала

$$p_{\text{вых}} = 0,08 \frac{A}{A_{\text{к}} - A_{\text{н}}} + 0,02,$$

где A — значение измеряемой величины в единицах измерения параметров; $A_{\text{н}}$ и $A_{\text{к}}$ — значения измеряемого параметра, соответствующие началу и концу шкалы прибора, в единицах измерения параметра; 0,08 и 0,02 — постоянные величины.

Регулировочные зависимости пневмопреобразователей рассмотрим на принципиальной кинематической схеме (рис. 143). Соотношение усилий, или диапазон измерения, регулируют изменением положения подвижной



опоры 5: при опускании подвижной опоры диапазон измерения увеличивается. Нулевое значение сигнала пневмоусилителя (0,02 МПа) регулируют при нулевом значении измеряемой величины винтом 7, меняющим натяжение пружины 6.

Рис. 143. Принципиальная схема пневматического преобразователя:

1 — термобаллон, 2 — капилляр, 3 — манометрическая пружина, 4 — рычаги передачи, 5 — подвижная опора, 6 — пружина, 7 — винт регулирования ноля прибора, 8 — рычаг обратной связи

Основную погрешность для манометрических термопреобразователей проверяют в нескольких точках шкалы: например, в начале шкалы (0 °С), в точке, соответствующей температуре в помещении, и в конце шкалы (100 °С). Сначала термобаллон 1 погружают в тающий лед (0 °С). Если при этом на выходе прибора давление воздуха не равно 0,02 МПа, его подстраивают до этой величины винтом 7. Затем термобаллон погружают в кипящую воду (100 °С), при этом давление на выходе должно достичь 0,1 МПа. Если выходное давление меньше 0,1 МПа, подвижную опору переставляют вверх, если больше 0,1 — вниз.

Затем проверяют погрешность в точке, которая соответствует температуре помещения, измеренной по образцовому ртутному термометру, например 23 °С. Давление на выходе термометра при этой температуре равно 0,038 МПа. Из формулы для $p_{\text{вых}}$ находят

$$A = \frac{(p_{\text{вых}} - 0,02)}{0,08} \cdot (A_k - A_{\text{н}}) = \frac{(0,038 - 0,02) \cdot 100}{0,08} = 22,5 \text{ } ^\circ\text{С}.$$

Для прибора класса точности 1 значение погрешности, равное 23 — 22,5 = 0,5 °С, является допустимым. По окончании проверки винт 7 регулировки и подвижную опору жестко фиксируют контргайками.

Рис. 144. Схема проверки вторичного прибора ПВ1.3:

1 — задатчик давления воздуха, 2 — образцовый манометр, 3 — проверяемый прибор, 4 — технический манометр 0—0,25 МПа, 5 — редукционный пневмоклапан



В проверочной схеме для прибора ПВ1.3 (рис. 144) для имитации пропорционального пневмосигнала и подачи питания целесообразно использовать пневмостенд ЛТ-40. Входной сигнал и его изменения контролируют по образцовому манометру 2 и изменяют задатчиком 1 стенда. Питание подводится к штуцеру «Пит.» прибора 3, а имитируемое давление подается на штуцер «Переменная». Задатчиком 1 стрелку прибора устанавливают на оцифрованные точки шкалы, соответствующие 0; 20; 40; ...; 100 %.

$$\text{Основная погрешность } \gamma = \frac{p - p_0}{0,08} \cdot 100\%,$$

где p — расчетное давление (табл. 18), МПа; p_0 — показания образцового прибора МПа. Значение расчетного давления p в этой формуле подставляют из табл. 18. Вариация прибора

$$B = [(p_n - p_{об}) / 0,08] \cdot 100 \%,$$

где p_n и $p_{об}$ — показания образцового прибора в проверяемой точке при прямом и обратном ходе, МПа.

Т а б л и ц а 18. Зависимость $p_{\text{вых}}$ пневмопреобразователей от $p_{\text{вх}}$

$p_{\text{вх}}$, % шкалы	$p_{\text{вых}}$, МПа	$p_{\text{вх}}$, % шкалы	$p_{\text{вых}}$, МПа	$p_{\text{вх}}$, % шкалы	$p_{\text{вых}}$, МПа
0	0,02	40	0,052	80	0,084
10	0,028	50	0,060	90	0,092
20	0,036	60	0,068	100	0,100
30	0,044	70	0,076	—	—

Аппаратура пневматической ветви ГСП при абсолютной погрешности в любой точке, не превышающей 0,0008 МПа, и абсолютном значении вариации 0,0004 МПа считается пригодной к эксплуатации.

Регулируют нулевое значение прибора винтом 1 (рис.

145) корректора нуля, а размах шкалы — изменением числа рабочих витков пружины 2 путем вращения ее в шайбе 3.

При проверке монтажа следует иметь в виду, что геометрический центр термобаллона должен находиться в точке, где измеряют температуру. Требования к уплотнению и теплоизоляции термобаллона те же, что и к установке термопреобразователей сопротивления. Капилляр должен быть проложен по конструкции вдали от нагретых поверхностей. Радиусы закруглений капилляра, а также радиус бухты, в которую сворачивают неиспользуемую часть капилляра, должны быть не менее 300 мм. К пневмопреобразователю подводят сжатый воздух давлением 0,2—0,6 МПа от сети. Перед прибором устанавливают редуктор давления воздуха, фильтр и манометр с диапазоном измерений 0—0,25 МПа для контроля давления питающего воздуха. На командную пневмолнию составляют акт проверки герметичности. Вторичный прибор устанавливают, как правило, в помещении ЦПУ.

Все трубные проводки должны иметь маркировку согласно проекту. Герметичность проводок проверяют перед началом опробования.

Манометрические термопреобразователи с дистанционной передачей показаний на вторичный пневматический прибор опробуют в два этапа. Сначала проверяют систему дистанционной передачи показаний на вторичный прибор. Для этого с помощью пневмотестера на отсоединенный от пневмопреобразователя конец линии подают давление воздуха 0,02; 0,06; 0,1 МПа и проверяют показания вторичного прибора, которые должны соответствовать 0; 50 и 100 % шкалы. Если на всех точках наблюдается

равное завышение или занижение показаний, корректором нуля приводят показания прибора к расчетным. Заниженные пропорционально увеличению пневмосигнала показания прибора свидетельствуют о негерметичности линии, что необходимо устранить. После проверки системы пневмопередачи линию

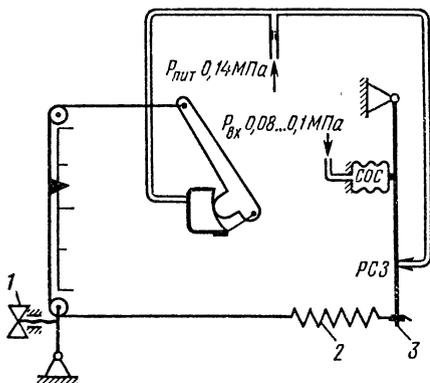


Рис. 145. Кинематическая схема ПВ1.3:

1 — винт корректора нуля, 2 — пружина, 3 — регулировочная шайба

подсоединяют к термометру и на него подают питание 0,14 МПа. Термобаллон погружают в среду с известной температурой, измеренной с помощью лабораторного ртутного термометра, и проверяют соответствие показаний вторичного прибора показаниям ртутного термометра.

Порядок включения приборов в работу и анализа их точности такой же, как для автоматических мостов и потенциометров.

Недостатками манометрических термопреобразователей являются ограниченность расстояния от точки замера до передающего преобразователя и запаздывание показаний (для газовых термометров — 80, для паровых — 40 с максимально).

§ 54. Бесшкальные преобразователи температуры

Бесшкальные преобразователи температуры применяют как передающие преобразователи для получения электрического унифицированного сигнала 0—5 или 0—20 мА, пропорционального изменению температуры. Эти же приборы в комплекте с электропневмопреобразователями позволяют получить пневматический унифицированный сигнал.

Бесшкальные преобразователи типа ПТ-ТП-68 применяют в комплекте с термоэлектропреобразователями, а ПТ-ТС-68 — с термопреобразователями сопротивления.

Градуировочные характеристики и стандартные диапазоны измерения преобразователей аналогичны рассмотренным для мостов и потенциометров. Поэтому анализ правильности выбора элементов систем и проверка монтажа преобразователей и соединительных линий такие же, как для систем с термопреобразователями сопротивления.

Предмонтажную проверку, опробование и наладку бесшкальных преобразователей температуры на действующем оборудовании рассмотрим на примере наладки комплекта измерений, состоящего из термопары, бесшкального измерительного преобразователя температуры ПТ-ТП-68 и вторичного прибора КСУ2. Градуировочная характеристика аппаратуры ХК, а шкалы приборов 0—100 °С.

Для проверки основной погрешности преобразователя собирают схему (рис. 146), в которой потенциометр 3 может быть переключен как для измерения т. э. д. с., имитируемой источником 2 регулируемого напряжения (ИРН), так и падения напряжения на образцовой катушке $R_{ок} = 10$ Ом. Сопротивление магазина сопротивлений R_n устанавливают равным 2490 Ом. Съёмную перемычку с зажима 5 переключают на зажим 6 колодки зажимов преобразователя 1. После подачи питания 220 В и двух-, трехчасового прогрева преобразователя начинают проверку основной погрешности, предварительно составив вспомогательную таблицу с расчетными показаниями (табл. 19).

Значения $U_{и.р.н}$ соответствуют значениям т. э. д. с. с термоэлектропреобразователями (см. табл. 16).

Устанавливая $U_{и.р.н}$ последовательно на значения, приведенные в табл. 20, сначала в возрастающем, а затем в убывающем порядке, получают данные для определения основной погрешности:

Таблица 19. Расчетные значения входных и выходных сигналов ПТ-ТП-68 (ХК, шкала 0—100 °С)

Температура, °С	$U_{п.р.н.}$, мВ	$U_{о.к.}$, мВ	$I_p = \frac{U_{о.к.}}{10}$
0	0	0	0
20	1,303	10	1
40	2,658	20	2
60	4,050	30	3
80	5,469	40	4
100	6,898	50	5

$$\gamma = \frac{I_p - I'}{5} \cdot 100 \% =$$

$$= \frac{I_p - \frac{U_{о.к.}}{10}}{5} \cdot 100 \%,$$

где I_p — расчетное значение тока на выходе преобразователя, мА; I' — измеренное значение тока, мА; $U_{о.к.}$ — измеренное падение напряжения на образцовой катушке, мВ.

Вариацию прибора определяют как разность значений тока на проверяемой точке при прямом I_p и обратном ходе $I_{об}$ градуировки, отнесенную к диапазону изменения выходного сигнала 5 мА:

$$B = \frac{I_p - I_{об}}{5} \cdot 100 \% = \frac{U_{о.к.п.} - U_{о.к.об.}}{50} \cdot 100 \%,$$

где $U_{о.к.п.}$ — падение напряжения на $R_{о.к.}$ при прямом ходе, мВ; $U_{о.к.об.}$ — то же, при обратном ходе.

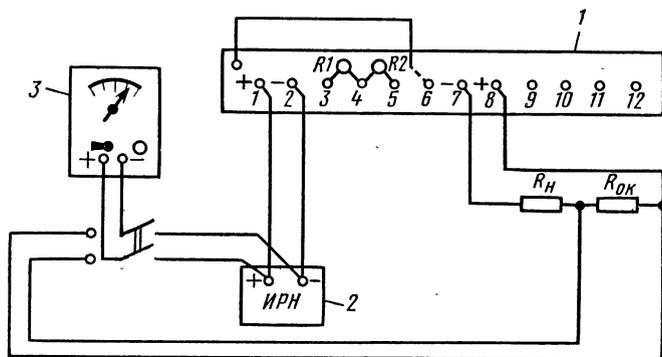


Рис. 146. Схема проверки ПТ-ТП-68:

1 — преобразователь, 2 — источник регулируемого напряжения, 3 — образцовый потенциометр; $R_{ок}$ — образцовое сопротивление, R_n — сопротивление нагрузки

Прибор считается исправным, если наибольшие значения абсолютных погрешности и вариации не превышают 0,05 мА.

Схема проверки основной погрешности прибора КСУЗ аналогична схеме проверки потенциометра КСПЗ (см. рис. 135), а измерительная схема отличается от схемы потенциометра тем, что вход прибора (см. рис. 136) зашунтирован резистором с сопротивлением 2 Ом и медный резистор R_k заменен на манганиновый $R_{о.к.}$, сопротивление которого равно сопротивлению резистора R_k при нулевой температуре.

Э. д. с., создающая ток 1; 2; 3; ...; 5 мА на входном шунтирующем резисторе, будет составлять соответственно 2, 4, 6, ..., 10 мВ. Подавая на вход прибора эти значения э. д. с. при прямом, а затем при обратном ходе,

можно получить данные для расчета основной погрешности и вариации прибора.

Монтаж преобразователей и соединительных линий проверяют так же, как у автоматических мостов. Однако требования к защите линии (от термоэлектропреобразователя до преобразователя) от влияния внешних электромагнитных полей менее жесткие, так как преобразователь хорошо экранирован и имеет надежную защиту от наводимых на линии напряжений.

Перед опробованием приборов подгоняют сопротивления входных цепей до значения 75 Ом. Одновременно измеряют сопротивление внешней линии, включая и внутренние сопротивления всех последовательно включенных элементов схемы (может быть случай включения в систему дистанционной передачи показаний второго вторичного прибора, регулятора и т. п.). Суммарное сопротивление внешней цепи не должно превышать 3 кОм. Затем в зависимости от значения внешнего сопротивления (нагрузки) выход преобразователя подключают к зажимам 7—8 (см. рис. 146) при $R_{вн} > 2$ кОм, 7—9 при 1 кОм $< R_{вн} < 2$ кОм; 7—10 при $R_{вн} < 1$ кОм. Перемычку подсоединяют к зажиму 5 (режим «Работа»).

Методика опробования и корректировки показаний системы такая же, как для автоматического потенциометра КСПЗ. Равномерно распределенная по шкале погрешность измерений может быть скомпенсирована корректором нуля преобразователя или перестановкой стрелки прибора КСУ. После проведения корректировки корректор нуля закрывают.

§ 55. Вспомогательное оборудование систем измерения температуры

Многоточечные переключатели температуры применяют для контроля температуры в нескольких точках (до 24) одноточечным прибором (милливольтметром, потенциометром, мостом) в том случае, если не требуется постоянного контроля и регистрации измеряемой величины, а значения измеряемых температур укладываются в один из стандартных диапазонов измерения.

Например, выход переключателя ПМТ на четыре точки (рис. 147) подключают к одноточечному милливольтметру 1, а на вход подключают четыре термоэлектропреобразователя 2. Перед установкой переключатель ревизуют: проверяют состояние подвижных контактов — щеток и неподвижных — ламелей. Поверхность контактов должна быть гладкой шлифованной, без видимых повреждений.

Перед сборкой контактную систему промывают спиртом или очищенным бензином. По окончании монтажа переключателя определяют соответствие номера точки по переключателю номеру позиции контроля по проекту автоматизации. Для этого последовательно закорачивают входные зажимы переключателя, а затем поворотом переключателя отыскивают с помощью комбинированного прибора или пробника номер точки, на которой выход ПМТ закорочен. После определения точек рядом с переключателем вывешивают табличку с оцифровкой шкалы переключателя.

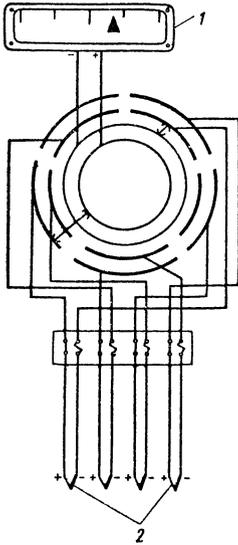
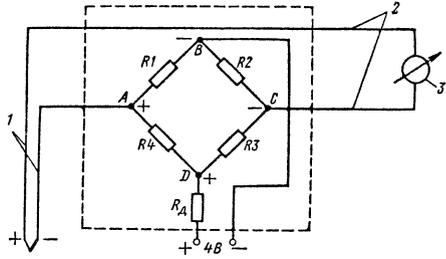


Рис. 147. Переключатель типа ПМТ:
1 — измерительный прибор, 2 — преобразователи

Рис. 148. Схема подключения КТ-54:
1 — компенсационные провода, 2 — медные провода, 3 — измерительный прибор



Как уже отмечалось, большое значение для обеспечения точности измерений имеют правильность выбора компенсационных проводов и соблюдение полярности при их подключении. Типы компенсационных проводов, применяемых с различными по градуировке термопреобразователями, а также признаки (окраска), позволяющие определить марку и полярность провода, приведены в табл. 20.

Таблица 20. Технические характеристики компенсационных проводов

Термопреобразователь	Материал и расцветка компенсационных проводов		Обозначение провода	Т. э. д. с. в паре между жилами *, мВ	Сопротивление проводов, Ом, длиной 1 м и сечением мм ²		
	положительного	отрицательного			1	1,5	2,5
Платинородий — платина	Медь, красная	Сплав ТП; зеленая	П	$0,64 \pm 0,03$	0,05	0,03	0,02
Хромель-алюмель	Медь, красная	Константан, коричневая	М	$4,1 \pm 0,15$	0,52	0,35	0,21
Хромель-копель	Хромель, фиолетовая	Копель, желтая	ХК	$6,9 \pm 0,3$	1,15	0,77	0,46

* При температуре рабочего конца 100 °С и свободного спая 0 °С.

Если милливольтметр или потенциометр удалены от места установки термоэлектропреобразователя, в целях экономии соединительные линии можно проложить медным проводом с термостатированием холодных концов термоэлектропреобразователя или с компенсационными коробками типа КТ-54. Причем при удалении милливольтметров градуировки ХК на расстояния более 32 м применяют только медные провода, так как провода ХК имеют значительное удельное сопротивление.

Принципиальная схема соединения термоэлектропреобразователя и милливольтметра с применением коробки КТ-54 приведена на рис. 148. Мост, образуемый резисторами $R1—R4$, находится в равновесии при температуре 20 °С. При изменении температуры $R4$, изготовленный из никеля, изменяет свое сопротивление и мост разбалансируется. Сопротивления остальных резисторов при изменении температуры остаются постоянными. Напряжение источника питания (4 В) и параметры моста подобраны таким образом, чтобы разность потенциалов между точками AD при изменении температуры резистора $R4$ на 1 °С была равна изменению э. д. с. термоэлектропреобразователя при изменении разности температур горячего и свободных концов на 1 °С. Так как компенсирующая э. д. с. направлена навстречу т. э. д. с., показания прибора не будут зависеть от температуры холодных концов термоэлектропреобразователя. Резистор R_d сменный, его сопротивление зависит от типа термоэлектропреобразователя.

Глава XIX

СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ДАВЛЕНИЯ

§ 56. Показывающие манометры и тягонапомеры

Показывающие приборы контроля давления применяют для измерения давления и получения измерительной информации в месте установки манометра или тягонапомера. При изучении и анализе технической документации необходимо обратить внимание на то, чтобы указанное в спецификации рабочее давление не превышало 0,75 верхнего предела измерений манометра при относительной стабильности измеряемого давления и 0,66 шкалы прибора при пульсирующем или резко изменяющемся при работе агрегата давлении.

Манометры, предназначенные для измерения давления кислорода или сред, содержащих свободный кислород, должны быть специального исполнения. Для измерения давления вязких, загрязненных, запыленных и агрессивных сред должны быть предусмотрены соответствующие вспомогательные устройства, которые должны обеспечить безаварийную работу систем. Если измеряется давление конденсирующихся газов или замерзающих жидкостей, проектом должен быть предусмотрен обогрев импульсных трасс и шкафов для аппаратуры контроля давления, расположенных на открытом воздухе.

В качестве образцового измерительного прибора при проверке приборов со шкалой до 25 кПа используют микроманометр, до 10 кПа — U -образный манометр.

Сначала проверяют схему на герметичность. Затем вращением ручки имитатора увеличивают (при проверке тягомеров) или уменьшают (при

проверке напоромеров) объем сильфона. Стрелку проверяемого манометра устанавливают последовательно на оцифрованные точки 0; 20; ...; 100 % шкалы прибора и по показаниям образцового прибора оценивают основную погрешность и вариацию:

$$\gamma = \frac{p - p_o}{p_k - p_n} \cdot 100 \% ; \quad B = \frac{p_n - p_{об}}{p_k - p_n} \cdot 100 \% ,$$

где p — показание проверяемого прибора, Па; p_n и p_k — максимальное и минимальное значения показаний прибора, Па; p_o — показание образцового прибора, Па; p_n и $p_{об}$ — показания образцового прибора при прямом и обратном ходе, Па.

Для проверки манометров среднего и высокого давления, а также для создания и измерения давления применяют грузопоршневые манометры МП-60 и МП-600. Давления измеряют с помощью грузов или образцовым манометром, установленным на грузопоршневом. Манометры с $p_k < 4$ МПа проверяют с помощью малогабаритных прессов.

Особое внимание уделяют проверке манометров, предназначенных для измерения давления кислорода или сред, содержащих свободный кислород. Они должны поступать в проверку с актами их обезжиривания. Технические манометры обычного исполнения, если их используют для измерения давления кислорода, обезжиривают следующим образом: в манометрическую пружину или мембранную коробку шприцем нагнетают четыреххлористый углерод, который через 4—6 ч удаляют, и промывают пружину спиртом-ректификатом. В качестве имитатора давления при проверке кислородных манометров применяют водяной поршневой насос.

Манометры, устанавливаемые на технологических трубопроводах напорных линий насосов и компрессоров, особенно поршневых, воспринимают периодические колебания давления жидкости или пара (пульсации). В случае применения показывающих приборов наличие пульсаций не позволяет произвести точный отсчет значения измеряемого давления по манометру и выводит из строя его механические узлы. При регистрации таких давлений запись получается размытой, рвется диаграмма и наблюдается повышенный расход чернил. Частично устранить пульсацию параметра на входе в прибор можно демпфированием: прижатием вентиля у отборного устройства, установкой на импульсной линии между отбором и манометром дополнительной емкости вместимостью 2—3 л или комбинации из дросселя и емкости.

В качестве дросселя используют лист фольги, наложенный на входной штуцер емкости, с проколотым иголкой капиллярным отверстием. Часто применяют стандартные регулируемые дроссели, изготовленные в виде отдельных блоков.

§ 57. Системы с дифференциально-трансформаторной передачей показаний

После изучения проектной документации приступают к проведению предмонтажной проверки преобразователей и приборов. Система измерения может быть спроектирована с применением невзаимозаменяемых или взаимозаменяемых элементов.

В случае поставки *невзаимозаменяемого преобразователя и вторичного прибора* их проверяют в комплекте, определяя его основную погрешность. В качестве примера рассмотрим проверку системы, состоящей из невзаимозаменяемого манометра МЭД и вторичного прибора, входящего в электрическую ветвь ГСП (КСДЗ). Для проверки основной погрешности собирают схему (рис. 149) комплекта измерения в целом. Манометр устанавливают на грузопоршневой манометр МП-60 и зажимы 3 и 4 прибора КСДЗ соединяют с зажимами 1 и 2 МЭД, а зажимы 1 и 2 — с зажимами 3 и 4.

После сборки схемы подают питание на КСДЗ и в течение 2—3 ч прибор прогревают. Перед определением основной погрешности проверяют правильность выбора рабочего участка характеристики МЭД. Рабочий участок характеристики — зависимость напряжения на обмотке II (рис. 150, а) от перемещения плунжера 2 — должен быть прямолинейным, т. е. лежать в пределах, ограниченных $\pm x_p$ (рис. 150, б), и не выходить за

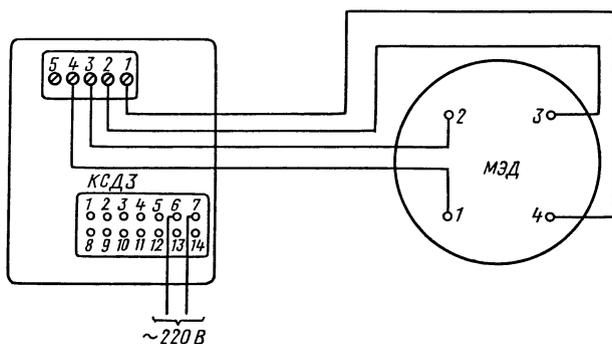


Рис. 149. Схема внешних соединений при проверке КСДЗ с МЭД

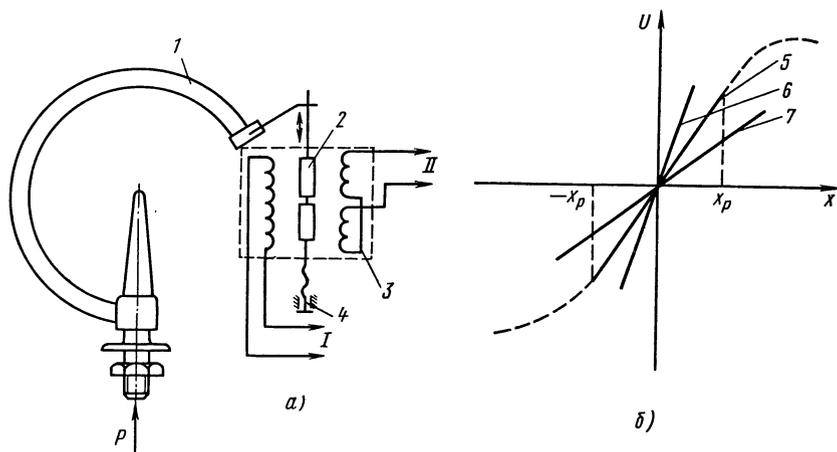


Рис. 150. Кинематическая схема МЭД (а) и характеристики дифтрансформатора (б):

1 — манометрическая пружина, 2 — плунжер, 3 — дифтрансформатор, 4 — винт перемещения катушки, 5 — нормальная характеристика дифтрансформатора, 6, 7 — то же, при увеличении и уменьшении размеров плунжера

значения напряжения, соответствующие пунктирной (криволинейной) части выходной характеристики дифтрансформатора 3.

Угол наклона характеристики при изменении линейного размера плунжера изменяется. При стандартном ходе плунжера (как правило, $\pm 2,5$ мм) линейность характеристики будет обеспечена, если при среднем значении давления плунжер будет находиться точно в среднем положении относительно дифтрансформатора.

Отсюда вытекает методика настройки и проверки основной погрешности комплекта измерений. Для проверки вторичного прибора переемычку между зажимами 3 (рис. 151) и 4 снимают и переставляют между зажимами 1 и 2. При нажатии кнопки K_n вход прибора закорачивается, что соответствует полной симметрии дифтрансформатора МЭД. При этом стрелка должна занять положение, соответствующее нулевому значению давления. Если стрелка не установилась на этой отметке, ее устанавливают точно на ноль вращением переменного резистора $R1$ при нажатой кнопке.

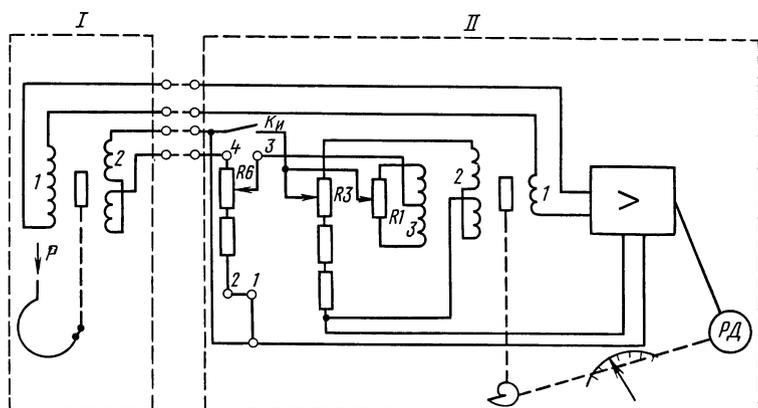


Рис. 151. Принципиальные измерительные схемы МЭД (I) и КСДЗ (II)

Если и в этом случае не удастся установить стрелку на нулевую отметку, выключают прибор, ставят подвижную систему на нулевой упор и переставляют стрелку на нулевую отметку шкалы вручную. Затем включают прибор и, нажав кнопку K_n , поворотом лекала, не жестко закрепленного на втулке, устанавливают стрелку на начальной точке шкалы.

После симметрирования вторичного прибора при отпускании кнопки K_n стрелка не должна отклоняться от нулевой отметки. Если отклонение есть, симметрируют МЭД. Для этого винтом 4 (см. рис. 150, а) перемещают катушки дифтрансформатора 3 относительно плунжера 2 и стрелку вторичного прибора устанавливают на нулевую отметку.

Затем проверяют основную погрешность и вариацию системы: они должны быть менее 1 % диапазона измеряемого давления. Если окажется, что диапазон измерения преобразователя не соответствует номинальному,

то его уменьшают или увеличивают изменением сопротивления переменного резистора R_6 (см. рис. 151) в измерительной схеме прибора.

Если МЭД проверяют в комплекте с приборами старых модификаций, то диапазон измерения системы регулируют изменением геометрических размеров плунжера 2 (см. рис. 150, а): раздвигают или приближают друг к другу половинки плунжера путем вращения их на оси с винтовой нарезкой. При увеличении размера плунжера (кривая б, см. рис. 150, б) при одном и том же давлении выходной сигнал уменьшается, и наоборот. Данные проверки комплекта приборов заносят в общий протокол предмонтажной проверки или паспорта.

При проверке выполненного монтажа систем контроля давления необходимы протоколы проверки герметичности импульсных линий.

Системы контроля давления с верхним пределом измерений до 4 МПа перед пуском проверяют малогабаритным прессом, который струбицей закрепляют на любой металлоконструкции. Системы для измерения более высокого давления рекомендуются проверять одновременно с пневматическим или гидравлическим испытанием трубопроводов, на которых они установлены.

Вторичные приборы до проверки прогревают и проверяют правильное подключение линий связи (фазировку). При неверной фазировке шкала прибора становится обратной. Для устранения этого дефекта меняют местами два провода, подающих питание в первичную обмотку МЭД, или пару проводов, подведенных к вторичной обмотке преобразователя.

Если при нажатии на кнопку K_n (см. рис. 151) вторичный прибор реагирует правильно, а в комплекте с МЭД не работает, значит, как правило, имеется обрыв в первичных или вторичных соединительных линиях или в обмотках дифтрансформатора, обрыв находят и устраняют.

При проверке *взаимозаменяемых дифференциально-трансформаторных измерительных преобразователей*, выходной сигнал которых изменяется в пределах 0—10 мВн, используют магазин комплексной взаимной индуктивности Р5017. Первичную обмотку дифтрансформатора (рис. 152) преобразователя 1 соединяют с разделительным трансформатором 3 и магазином взаимной индуктивности 2. Трансформатор 3 полу-

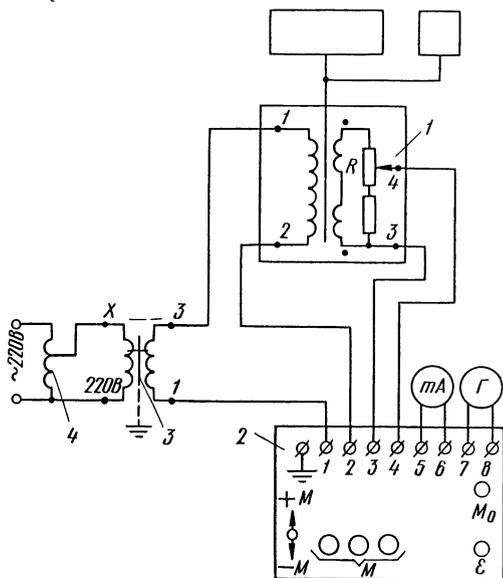


Рис. 152. Схема проверки взаимозаменяемого преобразователя:

1 — дифтрансформатор преобразователя, 2 — магазин комплексной взаимной индуктивности Р5017, 3 — разделительный трансформатор, 4 — ЛАТР

чает питание от сети переменного тока напряжением 220 В через автотрансформатор 4 типа ЛАТР. Вторичную обмотку дифтрансформатора 1 (зажимы 3 и 4) подключают к зажимам 3 и 4 магазина 2. Для контроля силы тока и баланса схемы к зажимам 5 и 6, 7 и 8 подключены соответственно миллиамперметр M_A с диапазоном измерения 0—150 мА и вибрационный гальванометр Γ типа М501. Давление на входе преобразователя создают прессом и контролируют по образцовому манометру.

В проверочную схему подают напряжение и в течение 40—50 мин преобразователь прогревают. Если до проверки преобразователь находился при низких или высоких температурах или во влажной среде, то перед проверкой его выдерживают в помещении производственной базы не менее 6 ч.

По миллиамперметру с помощью автотрансформатора 4 устанавливают рабочий ток 125 мА. При нулевом значении давления на входе производят компенсацию остаточной взаимной индуктивности. Для этого, постепенно увеличивая чувствительность вибрационного гальванометра, вращением ручки M_0 добиваются минимальной ширины светового пятна на шкале гальванометра. Значение остаточной взаимной индуктивности, соответствующей нулевому сигналу гальванометра при максимальной чувствительности, отсчитывают по шкале M_0 , оно должно быть не более 0,1 мГн. Если это условие выполняется, то значение M_0 остается неизменным в течение периода проверки преобразователя. Если M_0 имеет значение более 0,1 мГн, его снижают, симметрируя положение дифтрансформатора относительно плунжера преобразователя вращением специальной шайбы.

Затем последовательно создают на входе преобразователя давление, равное расчетному, для фиксированных точек диапазона измерения. Вращением рукояток декадных переключателей взаимной индуктивности M и ручки узла измерения угла потерь ϵ постепенно увеличивают чувствительность гальванометра и добиваются баланса схемы при его максимальной чувствительности. Показания M_i и ϵ_i магазина для каждой точки фиксируют в протоколе проверки. После измерения M на каждой точке чувствительность вибрационного гальванометра устанавливают на минимальное значение. Определяют погрешность и вариацию преобразователя

$$\gamma = \frac{M - M_p}{10} \cdot 100 \% ; \quad B = \frac{M_n - M_0}{10} \cdot 100 \%$$

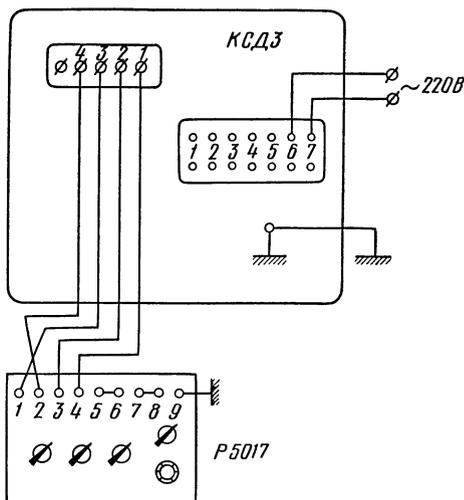
где M — действительное значение взаимной индуктивности; M_p — расчетное для данной точки; M_n и M_0 — соответственно действительные значения при прямом и обратном ходах.

Преобразователь считается исправным, если значения погрешностей на проверяемых точках не превышают предела допускаемой основной погрешности преобразователя, равного 10 К, где К — класс точности преобразователя, а значение угла потерь ϵ не превышает установленных для конкретных типов аппаратуры техническими условиями. Например, для преобразователей типа ДМ 3583 значения угла потерь должно быть в пределах $(7 \pm 1,5)^\circ$, а для ДМ 3583 ф — $(5 \pm 1)^\circ$. Юстировку преобразователей проводят изменением положения движка переменного резистора R

Для проверки основной погрешности взаимозаменяемых дифференциально-трансформаторных приборов, которые имеют унифицированный

Рис. 153. Схема проверки прибора типа КСД

входной сигнал взаимной индуктивности, изменяющийся в диапазоне 0—10 мГн, собирают схему (рис. 153). Перемычку снимают с зажимов 1 и 2 и устанавливают между зажимами 3 и 4. Применяемый для проверки магазин взаимной индуктивности Р5017 класса точности 0,25 будет удовлетворять условию пригодности для проверки $\frac{\delta M}{10} \leq \frac{1}{4} \gamma$, так как вторичные дифференциально-трансформаторные приборы серии КСД всех типов имеют класс точности не выше 1,0.



Перед проверкой основной погрешности включают прибор КСД в работу, а на магазине взаимной индуктивности устанавливают взаимную индуктивность в пределах 6—7 мГн и выдерживают прибор во включенном состоянии в течение 1,5—2 ч. После прогрева прибора нажимают кнопку «Контроль», при этом стрелочный указатель должен установиться на нулевой отметке шкалы с погрешностью, не превышающей предела основной допускаемой погрешности.

На магазине взаимной индуктивности устанавливают ручки M в нулевое положение (см. рис. 152), остаточную взаимную индуктивность M_0 устанавливают равной нулю, а ручку переменного резистора регулировки угла потерь ϵ — на отметку, соответствующую значению $5^\circ 30'$. При этом тумблер аргумента ϕ находится в положении 0,45 рад. Если указатель прибора не установился на нулевой отметке с требуемой точностью, то переменным резистором $R1$ (см. рис. 151) «Регулировка нуля» его устанавливают точно на нулевое значение. Затем переключают тумблер аргумента в положение 0,55 рад, при этом отклонение указателя от нулевой отметки не должно превышать значения, равного пределу допускаемой основной погрешности, который равен 0,1 мГн. Отклонение определяют по показаниям магазина, которые считывают после возвращения указателя на нулевую отметку. Это же условие должно соблюдаться при значении угла потерь 8° , а аргумента 0,45 и 0,55 рад.

Затем на магазине Р5017 устанавливают значение M , равное 10 мГн, и проверяют установку указателя на отметку шкалы, соответствующую верхнему значению диапазона измерения прибора, при $M_0=0$, аргументе, равном 0,45 рад, и угле потерь $5^\circ 30'$. Если указатель не установился на конечную отметку, то вращением переменного резистора $R3$ (см. рис. 151) «Диапазон измерений» стрелку устанавливают на конечную отметку шкалы. Поскольку при корректировке диапазона настройка нуля сбивается, то после установки максимального значения на Р5017 устанавли-

вают значение $M = 0$ мГн и корректируют установку указателя на нулевую отметку переменным резистором $R1$. Операцию производят несколько раз. После установки диапазона проверяют отклонение указателя прибора от максимального значения при аргументе, равном $0,55$ рад, и затем при $\epsilon = 8^\circ$ и аргументе, равном $0,45$ и $0,55$ рад. После каждой комбинации φ и ϵ значение взаимной индуктивности изменяют так, чтобы указатель установился на максимальную отметку, и затем считывают показания. Рассчитывают основную погрешность измерения и вариацию. Как правило, γ и B определяют для наибольших значений абсолютной погрешности из четырех, полученных при различных комбинациях φ и ϵ для каждой проверяемой точки. Во всех случаях максимальные значения γ и B не должны превышать для приборов КСД 1 %.

Если в процессе проверки окажется, что основная погрешность более 1 % (абсолютная погрешность больше чем $0,1$ мГн) и вариацией органов настройки нуля и диапазона измерений не удастся снизить ее значение до допустимых пределов, то производят юстировку прибора. Для этого на магазине Р5017 устанавливают произвольное значение взаимной индуктивности и нажимают кнопку «Контроль». Если указатель прибора не установился на начальной отметке, значит смещен сердечник дифференциального трансформатора. С помощью специального гаечного ключа из запасного комплекта элементов и инструмента (ЗИП) к прибору расконтривают плунжер и перемещают его до тех пор, пока указатель не установится точно против начальной отметки шкалы. После установки нулевого положения плунжера на магазине взаимной индуктивности устанавливают M , равную нулю, и корректируют положение указателя переменным резистором $R1$ (см. рис. 151). Затем при $\varphi = 0,45$ рад и $\epsilon = 6^\circ 45'$, вращая ручку резистора $R3$ «Диапазон измерений», указатель прибора устанавливают точно на максимальную отметку. Операцию настройки проводят несколько раз до тех пор, пока точность установки нулевого и максимального значений не окажется в допустимых пределах. Затем, подавая на вход прибора сигналы, соответствующие оцифрованным точкам шкалы, определяют основную погрешность способом, описанным выше.

Манометры на действующем оборудовании подключают только при подготовленном, проверенном и включенном в работу вспомогательном оборудовании. Если при проверке точности работы системы на действующем оборудовании окажется, что ее показания ниже расчетных, проверяют герметичность импульсной линии. Для этого при закрытом коренном вентиле, установленном непосредственно у места отбора, в линию нагнетают давление. Если показания манометра при этом уменьшаются, обнаруживают место утечки, покрывая импульсную линию пенообразующим раствором, например мыльным.

Завышение показаний в системах контроля давления может быть в случае, если манометр для измерения давления жидкости или конденсирующихся газов установлен ниже уровня места отбора. Погрешность измерения равна гидростатическому напору столба жидкости в импульсной трассе. В этом случае вносят постоянную поправку в показания приборов.

§ 58. Пневматические системы дистанционной передачи показаний

При анализе технической документации необходимо учитывать, что пневматическая система дистанционной передачи показаний может нормально работать при длине линии связи не более 300 м. Кроме того, пневматические системы обладают существенным запаздыванием, которое для линии 200—300 м может достигать 100 с.

Процесс наладки системы контроля давления с пневматической передачей показаний на вторичный прибор рассмотрим на примере системы, состоящей из манометра МС-П2 с пределом измерений 0—2,5 МПа и вторичного регистрирующего прибора ПВ4.1Э.

Проверочную схему прибора собирают из поршневого манометра в комплекте с образцовым манометром с пределом измерений 0—2,5 МПа. Выходное давление контролируют образцовым манометром с пределом измерений 0—0,1 МПа. Для контроля выходного давления и подачи питания на преобразователь используют пневматический стенд ЛТ-40. При сборке проверочной схемы следует иметь в виду, что выведенные на боковую стенку штуцера питания и выходного сигнала всегда расположены в следующем порядке: слева — штуцер выходного сигнала, справа — питания.

Основная погрешность показаний и вариация прибора могут быть определены двумя способами. При первом способе на вход манометра подают расчетное значение измеряемого давления и погрешность определяют как отношение разности между расчетным (см. табл. 18) и фактически измеренным значениями выходного сигнала к диапазону изменения сигнала (0,08 МПа), выраженное в процентах. Вариацию определяют как отношение разности показаний образцового манометра на данной точке при прямом и обратном ходе указателя к диапазону изменения сигнала (0,08 МПа), выраженное в процентах.

При втором способе выходной сигнал устанавливают (по табл. 18) на расчетное значение как при прямом, так и при обратном ходе, и основную погрешность и вариацию определяют по формулам, приведенным в § 53.

При использовании образцового манометра расчетное значение давления

$$p_p = \frac{p_{\text{вых}} - 0,02}{0,08} \cdot p_{\text{max}}$$

при использовании прибора Петрова

$$p_p = \frac{h_{\text{вых}} - 147,6}{590,6} \cdot p_{\text{max}}$$

где $p_{\text{вых}}$ — выходное давление на проверяемой точке, МПа;

$h_{\text{вых}}$ — выходное давление на проверяемой точке, мм;

p_{max} — размах шкалы манометра, мм рт. ст.

Для перевода значения выходного давления в давление ртутного столба пользуются табл. 21.

Таблица 21. Соотношение между единицами давления для характерных точек шкал манометров в пневмопередаче

Выходное давление преобразователя	Характерная точка шкалы в % диапазона прибора					
	0	20	40	60	80	100
$P_{\text{вых}}$, МПа	0,02	0,036	0,052	0,068	0,084	0,1
$h_{\text{вых}}$, мм рт. ст.	147,6	265,7	238,8	502	620,1	738,2

Регулировочные зависимости, т. е. способ настройки нуля и диапазона измерений прибора, проследим на принципиальной схеме манометра МС-П (рис. 154). Развиваемое измерительным сильфоном 1 усилие через систему рычагов 2 уравнивается усилием, развиваемым сильфоном обратной связи СОС.

Усилие обратной связи пропорционально значению выходного давления $P_{\text{вых}}$. Соотношение между измеряемым $P_{\text{изм}}$ и выходным $P_{\text{вых}}$ давлениями можно изменять перемещением подвижной опоры 3, в результате чего изменится соотношение плеч рычагов измерительной системы. Вращением корректора 4 изменяют начальное нулевое усилие в системе. Если прибор необходимо переградуировать на другой предел измерений (например, 0—4 МПа) или если основная погрешность прибора выше допустимой, подвижную опору 3 переставляют соответственно вниз или вверх по системе рычагов 2. Следует иметь в виду, что при настройке нуля диапазон измерений не изменяется, а при перемещении опоры 3 нуль сбивается. Поэтому в пределах 0—0,1 МПа выходное давление прибора настраивают на диапазон изменения выходного давления, равный 0,08 МПа, затем пресс отключают и корректором 4 устанавливают выходное давление, равное 0,02 МПа.

Прибор ПВ4.1Э проверяют так же, как прибор ПВ1.3 (см. § 52), так как измерительные схемы этих приборов одинаковы.

После определения основной погрешности для прибора ПВ4.1Э в отличие от ПВ1.3 проверяют изоляцию питания привода диаграммы и погрешность работы лентопротяжного механизма.

При проверке монтажа выполняют все операции, изложенные в § 52. Дополнительно к документации по проверке герметичности импульсных

линий должны быть представлены документы по опрессовке линий между пневмопреобразователями и вторичным прибором.

Перед пуском систему проверяют с помощью малогабаритного прессы. Смонтированные приборы и работо-

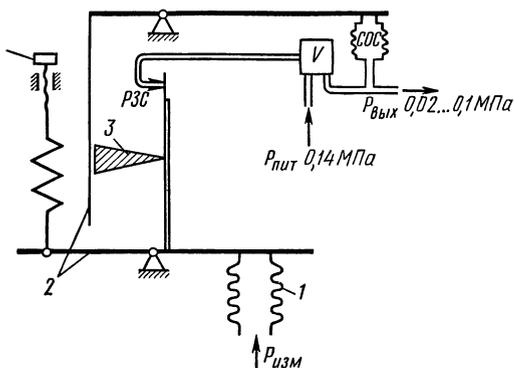


Рис. 154. Принципиальная схема манометра МС-П:

1 — измерительный сильфон, 2 — рычаги, 3 — подвижная опора, 4 — корректор нуля

способность системы пневматической передачи показаний удобно проверять пневмотестером.

Перед включением системы в работу на преобразователь и вторичный прибор подают питание (сжатый воздух). Прибор ПВ4.1Э включают на регистрацию. Системы проверяют в следующем порядке: от включенного в работу манометра отсоединяют линию выхода и с помощью пневмотестера замеряют давление на выходе. Если это же давление регистрирует вторичный прибор, то и линия передачи и вторичный прибор считаются исправными. Если показания вторичного прибора ниже, а установлено, что он исправен, необходимо найти негерметичность линии.

При измерении с помощью рассматриваемой системы пульсирующих давлений сгладить пульсации возможно установкой демпфера в линии дистанционной передачи.

При наладке пневматических систем контроля необходимо иметь в виду относительно малую скорость передачи сигнала на расстояние.

При демпфировании пневмосистем по входу или выходу их действие еще более замедляется.

Поэтому рекомендуется снимать временные характеристики пневмолиний и определять время передачи сигнала. Характеристики снимают с одной или нескольких наиболее протяженных линий, а затем согласовывают с техническим персоналом возможности использования систем.

Для снятия характеристики на вход пневмолинии подают скачкообразный пневматический импульс (рис. 155, а) и одновременно начинают фиксировать изменения показаний вторичного прибора. На графике (рис. 155, б), по которому определяют постоянную времени линии, видно, что запаздывание передачи сигнала на вторичный прибор увеличивается при увеличении длины линии и уменьшении проходного отверстия демпфера.

Время прохождения сигнала (или запаздывание) определяют как разницу между моментом подачи скачкообразного импульса на входе в линию и моментом достижения выходным сигналом значения поданного импульса. Из рисунка видно, что давление на выходе линии 1 (150 м) нарастает почти мгновенно, а время передачи сигнала в линии 3 (300 м, демпфер) значительно больше ($t_3 > 1$ мин).

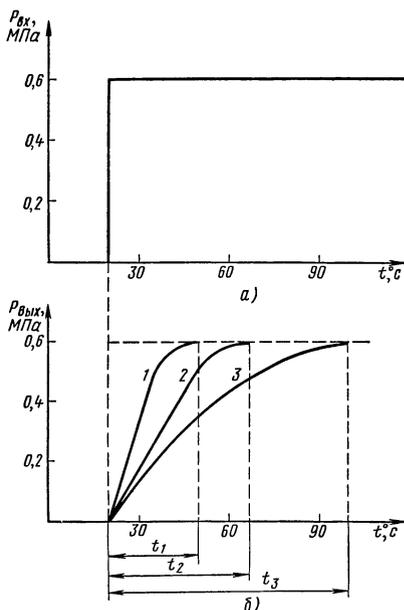
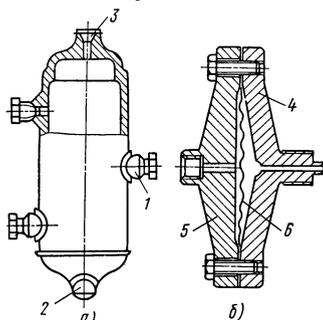


Рис. 155. График изменения давления на входе линии (а) и показаний вторичного прибора (б): 1 — длина линии 150 м, 2 — то же, 300 м, 3 — то же, 300 м с демпфером

§ 59. Вспомогательное оборудование систем измерения давления

Для защиты чувствительных элементов манометров от воздействия агрессивных и загрязненных сред применяют разделительные сосуды, мембранные разделители и устройства непрерывной промывки или продувки отборов.



Разделительный сосуд (рис. 156, а) представляет собой металлическую емкость со штуцерами на торцах, имеющую три пробки для заливки жидкости и контроля ее уровня. Принцип действия разделителя

Рис. 156. Разделительный сосуд (а) и мембранный разделитель РМ (б):

1 — пробка, 2, 3 — штуцеры, 4, 5 — верхний и нижний фланцы, 6 — мембрана

тельного сосуда состоит в передаче давления агрессивной жидкости или газа на чувствительный элемент манометра через разделительную жидкость.

К разделительной жидкости предъявляются следующие требования: нейтральность по отношению к материалу, из которого изготовлен прибор, плотность, отличная от плотности измеряемой жидкости; несмешиваемость с измеряемой жидкостью. Применяемые на практике разделительные жидкости и их свойства приведены в табл. 22. Разделительную жидкость, плотность которой выше измеряемой, заливают в сосуд, импульсную трассу и чувствительный элемент манометра через пробку 1. Уровень разделительной жидкости должен установиться посередине сосуда, избыток ее сливают через ту же пробку.

Если плотность разделительной жидкости ниже измеряемой, то измеряемую жидкость подают в штуцер 2, а манометр соединяют со штуцером 3. Разделительную жидкость в этом случае заливают через сбросной вентиль, устанавливаемый в верхней точке импульсного трубопровода, под давлением, чтобы вытеснить весь воздух из трубопровода.

Т а б л и ц а 22. Разделительные жидкости

Жидкость	Средняя плотность при 20 °С, г/см ³	Температура замерзания, °С
Вода	1,00	— 0
Глицерин	1,24	— 17
Водно-глицериновая смесь: (1 : 1 по объему)	1,13	— 22,5
Дибутилфталат	1,04	— 35
Этиловый спирт	0,78	— 112
Этиленгликоль	1,11	— 12
Водно-этиленгликолевая смесь: (1 · 1 по объему)	1,07	— 36

Мембранный разделитель (рис. 156, б), поставляемый комплектно с манометром ГСП, представляет собой два фигурных фланца 4 и 5 с зажатой между ними металлической мембраной 6. К фланцу 4 подсоединен через капилляр манометр, и пространство над мембраной, капилляр и чувствительный элемент заполнены кремнийорганической жидкостью. Фланец 5 соединяют с трубопроводом или аппаратом, где необходимо измерять давление. Если температура измеряемой среды ниже 60°C , манометр устанавливают непосредственно на штуцер верхнего фланца 4.

Для измерения давления сред, которые загустевают или кристаллизуются при понижении температуры, применяют мембранные разделители, в которых нижний фланец 5 заменяют ответным фланцем с большим отверстием, устанавливаемым непосредственно на оборудовании. В этом случае температура среды в месте контакта с мембраной не понижается и нет необходимости в импульсных трубопроводах малого диаметра, которые легко забиваются консистентными продуктами.

Надо учитывать, что максимальная температура, при которой может находиться мембрана, равна 110°C , так как при более высоких температурах кремнийорганическая жидкость теряет свои свойства.

Устройства непрерывной промывки и продувки отборо в основаны на принципе передачи давления в трубопроводе или аппарате чувствительному элементу манометра через нейтральный газ или жидкость, свободно стекающие в трубопровод или аппарат. Их можно применять в тех случаях, когда есть возможность создать давление нейтральной среды больше измеряемой и когда технология производства не нарушается при подаче в технологические аппараты нейтральных сред.

Если плотность измеряемой жидкости меньше нейтральной, нейтральную жидкость подают на вход устройства (рис. 157, а), где ее давление измеряется манометром 4. Редукционным гидроклапаном 5 по показаниям ротаметра 2 устанавливают требуемый расход нейтральной жидкости. Чувствительный элемент манометра 1 оказывается заполненным нейтральной жидкостью или газом. При аварийном отключении нейтральная жидкость будет оставаться в части аб импульсной линии. Когда же плотность измеряемой жидкости выше нейтральной, применяют схему, показанную на рис. 157, б. При такой схеме при аварийном отключении нейтра-

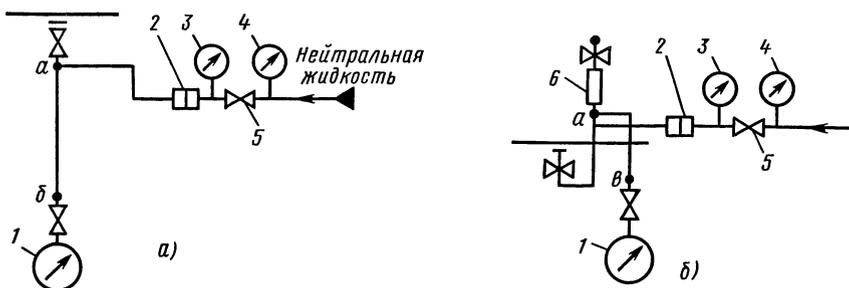


Рис. 157. Схема непрерывной промывки (продувки) отбора давления нейтральной жидкостью тяжелее (а) и легче (б) измеряемой:

1 — манометр, 2 — ротаметры, 3, 4 — контрольные манометры, 5 — редукционный гидроклапан (вентиль), 6 — воздушосборник

льная жидкость будет находиться в части *ав* импульсной линии (рис. 157, б). Для удаления пузырьков воздуха в верхней части трассы устанавливают воздухосорбник *б* с вентилем.

При проверке монтажа обращают внимание на место врезки выхода устройства в импульсную линию, оно должно быть расположено возможно ближе к точке отбора. Это требование вызвано тем, что при протекании жидкости или газа по трубопроводу давление его падает пропорционально расходу среды и длине трубы. Поэтому при значительной длине прохождения потока нейтральной жидкости от точки врезки до точки отбора значение этой потери будет существенным и на это значение манометр будет завышать свои показания.

Включают устройства промывки или продувки мест отборов при закрытом вентиле у отборного устройства, который может быть открыт только после того, как показания манометра *З* станут выше, чем давление в технологическом аппарате.

Расход нейтральной среды устанавливают на недействующем оборудовании таким, чтобы при максимальном ее расходе не наблюдалось отклонения стрелки манометра от нулевого значения. В этом случае потеря давления на импульсной линии считается допустимой. Если же включение устройства вызывает видимое отклонение стрелки прибора, или приближают точку врезки к месту отбора, или увеличивают диаметр импульсной трубы, уменьшая тем самым сопротивление соединительной линии и соответственно потерю давления.

Глава XX

СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДОВ

§ 60. Поплавковые механические дифманометры

К качеству наладки систем контроля расходов предъявляются жесткие требования, так как по показаниям расходомеров учитывают исходные продукты и полученную продукцию и ведут расчеты за сырье и отпущенную готовую продукцию. Расходомеры-дифманометры чаще всего работают в комплекте с диафрагмами, перепад давления на которых однозначно связан с расходом измеряемых жидкостей и газов.

При автоматизации технологических процессов применяют самопишущие поплавоквые дифманометры ДП-710 с ртутным заполнением. При рассмотрении технической документации проверяют предельно возможную точность измерения выбранной системы, соответствие выбранной аппаратуры параметрам измеряемых сред, наличие в спецификации необходимого защитного и вспомогательного оборудования. После проведения внешнего осмотра собирают проверочную схему (рис. 158).

В зависимости от класса точности проверяемого расходомера и диапазона изменения перепада на сужающем устройстве в качестве образцового выбирают один из следующих приборов: микроманометр, прибор ППР-2М, однотрубный, U-образный или образцовый (модели 1226) манометры. Перед подсоединением к проверочной схеме в дифманометр наливают ртуть в количестве, указанном в инструкции; пространство над ртутью заливают водой.

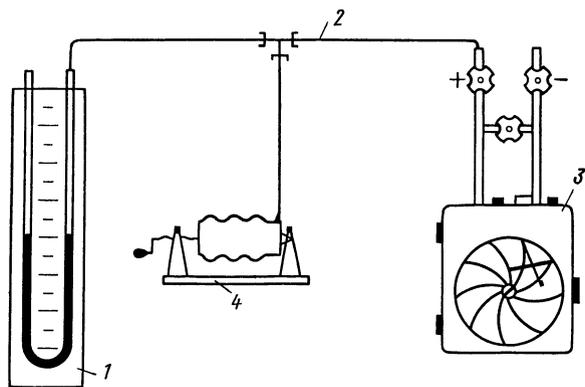


Рис. 158. Проверочная схема дифманометра ДП-710:
 1 — U-образный манометр, 2 — соединительная трубка, 3 —
 дифманометр, 4 — имитатор

Все операции по заполнению ртутью приборов и проверку основной их погрешности следует проводить в специальных ртутных помещениях с соблюдением требований техники безопасности и проведением мероприятий по охране труда.

Порядок проверки основной погрешности и вариации дифманометров-расходомеров имеет особенности в связи с квадратичной зависимостью между измеряемым расходом и перепадом. По этой причине для систем, в которых используют диафрагмы, при значениях измеряемого расхода ниже 30 % от размера диапазона измерений основную погрешность не определяют.

Поплавковые дифманометры могут иметь неравномерную (квадратичную) шкалу, когда одному и тому же углу перемещения стрелки будут соответствовать в разных частях шкалы различные приращения измеряемого расхода. Выпускают также дифманометры, у которых перемещение на стрелку передается через профильный кулачок, обеспечивающий извлечение квадратного корня из значения перемещения стрелки. У таких расходомеров шкала равномерная или, как говорят, линейная.

При проверке расходомеров с нелинейной шкалой стрелку устанавливают на точки 30; 40; 60; 80; 100 % шкалы прибора при прямом и обратном ходе. Определяют основную погрешность и вариацию:

$$\gamma = \frac{p - p_0}{p_{\max}} \cdot 100 \% ; \quad B = \frac{p_n - p_{об}}{p_{\max}} \cdot 100 \% .$$

где p — расчетное значение перепада, МПа; p_0 — показание образцового прибора, МПа; p_{\max} — максимальный перепад, МПа; p_n и $p_{об}$ — показания образцового прибора при прямом и обратном ходе.

Расчетное значение перепада

$$p = p_{\max} (Q / Q_{\max})^2,$$

где Q — значение расхода на проверяемой точке, т/ч или м³/ч; Q_{\max} — диапазон измерения расходомера.

Пример. Определить расчетное значение перепада давления для проверки погрешности расходомера воды с $p_{\max} = 0,04$ МПа и диапазоном измерений $Q_{\max} = 10\,000$ м³/ч при значении расхода на проверяемой точке $Q = 8000$ м³/ч.

$$p = p_{\max} (Q/Q_{\max})^2 = 0,04 (8000/10\,000)^2 = 0,256 \text{ МПа.}$$

Для поплавковых дифманометров максимальные значения основной погрешности и вариации должны быть не более 1 %.

Для расходомеров с линейной зависимостью (шкалой) перемещения стрелки при изменении расхода в соответствии со стандартом (ГОСТ 8.146—75) при определении основной погрешности в качестве нормирующего значения принимают не предельный номинальный перепад, а максимальный расход измерительного прибора, т. е.

$$\gamma = \frac{Q_p - Q}{Q_{\max}} \cdot 100 \%,$$

где Q_p — расчетное значение расхода; Q — действительный расход на проверяемой точке шкалы; Q_{\max} — нормирующее значение.

Для исправного расходомера основная погрешность не должна превышать предела, численно равного классу точности κ прибора. Поскольку при проверке образцовыми приборами измеряют перепад, необходимо найти предельное допустимое отклонение перепада давления Δh от расчетного значения h_p . Заменяя в предыдущей формуле γ на κ , получим

$$\kappa = \left(\sqrt{\frac{h_p}{h_{\max}}} - \sqrt{\frac{h_p + \Delta h}{h_{\max}}} \right) \cdot 100 \%$$

или

$$\frac{\kappa}{100} + \sqrt{\frac{h_p}{h_{\max}}} = \sqrt{\frac{h_p + \Delta h}{h_{\max}}},$$

возведя в квадрат, получим

$$\left(\frac{\kappa}{100} \right)^2 + 2\kappa \sqrt{\frac{h_p}{h_{\max}}} + \frac{h_p}{h_{\max}} = \frac{h_p}{h_{\max}} + \frac{\Delta h}{h_{\max}}.$$

Произведя приведение подобных и отбрасывая $\left(\frac{\kappa}{100} \right)^2$ как величину, на порядок меньшую остальных, получим

$$\Delta h = 2\kappa h_{\max} \sqrt{\frac{h_p}{h_{\max}}}$$

Поскольку $\sqrt{\frac{h_p}{h_{\max}}}$ — расчетное значение расхода на проверяемой точке — равно 0,3; 0,4; ...; 1,0, то предел допускаемой основной погрешности $\Delta h = 2\kappa h_{\max} \frac{Q_p}{Q_{\max}}$ и будет иметь различные значения для различных точек шкалы.

Пример. Определить предельное отклонение перепада давления от расчетного при проверке расходомера класса 1,5 с линейной шкалой. Предел измерения расходомера 0—10 000 м³/ч, перепад давления 0—4000 Па.

$$\Delta h = 2 \frac{\kappa}{100} \cdot h_{\max} \cdot \frac{Q_p}{Q_{\max}} = \frac{2 \cdot 1,5 \cdot 4000}{100} \cdot \frac{Q_p}{10\,000} = \frac{120}{10\,000} Q_p$$

Для проверки точек шкалы, соответствующих 4000 и 7000 м³/ч, предельные допустимые отклонения перепада от расчетного значения будут

$$\Delta h_{4000} = \frac{120 \cdot 4000}{10\,000} = 48 \text{ Па} \quad \text{и} \quad \Delta h_{7000} = \frac{120 \cdot 7000}{10\,000} = 84 \text{ Па}.$$

Для измерительных преобразователей с унифицированным выходным сигналом и линейризирующим устройством погрешность

$$\gamma = \left(\sqrt{\frac{S - S_0}{S_{\max} - S_0}} - \sqrt{\frac{h_p}{h_{\max}}} \right) \cdot 100 \%,$$

если измерительный образцовый прибор на выходе точнее, или

$$\gamma = \left(\sqrt{\frac{S_p - S_0}{S_{\max} - S_0}} - \sqrt{\frac{h}{h_{\max}}} \right) \cdot 100 \%,$$

если точнее образцовый прибор на входе преобразователя, где S и S_p — измеренное и расчетное значения унифицированного сигнала; S_0 и S_{\max} — начальное и максимальное значения диапазона изменения унифицированного сигнала.

В этом случае пределы допускаемой основной погрешности

$$\delta S = 2\kappa(S_{\max} - S_0) \cdot \frac{Q_p}{Q_{\max}} \quad \text{или} \quad \delta h = 2kh_{\max} \frac{Q_p}{Q_{\max}}.$$

Выполнение монтажа систем измерения расхода проверяют в соответствии с «Правилами измерения расхода жидкостей и газов стандартными сужающими устройствами РД50-213-80» с особой тщательностью, так как отклонение от установленных правил является причиной значительных погрешностей измерений.

Если из-за местных условий (например, стесненность помещений, отсутствие прямых участков необходимой длины) монтаж выполнен с отклонениями от правил, наладчик, прежде чем сделать предложения по его переделке, должен произвести расчет влияния отклонений от правил на точность работы системы и обосновать необходимость переделки. При проверке монтажа необходимо убедиться в том, что номер диафрагмы соответствует номеру дифманометра и она установлена острой кромкой навстречу потоку жидкости.

Диафрагму устанавливают на прямом участке, длину которого измеряют числом диаметров трубопровода D (например, $10D$). Эта длина зависит от модуля диафрагмы m и вида сопротивлений, установленных на трубопроводе (изгибов, клапанов, фланцев). Зная модуль диафрагмы ($m = d^2/D^2$, где d — диаметр отверстия диафрагмы) и перечень сопротивлений, установленных на трубопроводе, наладчик по таблицам и графикам к Правилам определяет точную длину прямого участка до диафрагмы. Размер прямого участка за диафрагмой должен быть во всех случаях не менее $5D$. Уменьшение длин прямых участков приводит к появлению дополнительных погрешностей.

Отборы для измерения расхода газов и паров монтируют в верхней части трубопровода, чтобы имеющийся в потоках газов и паров конденсат

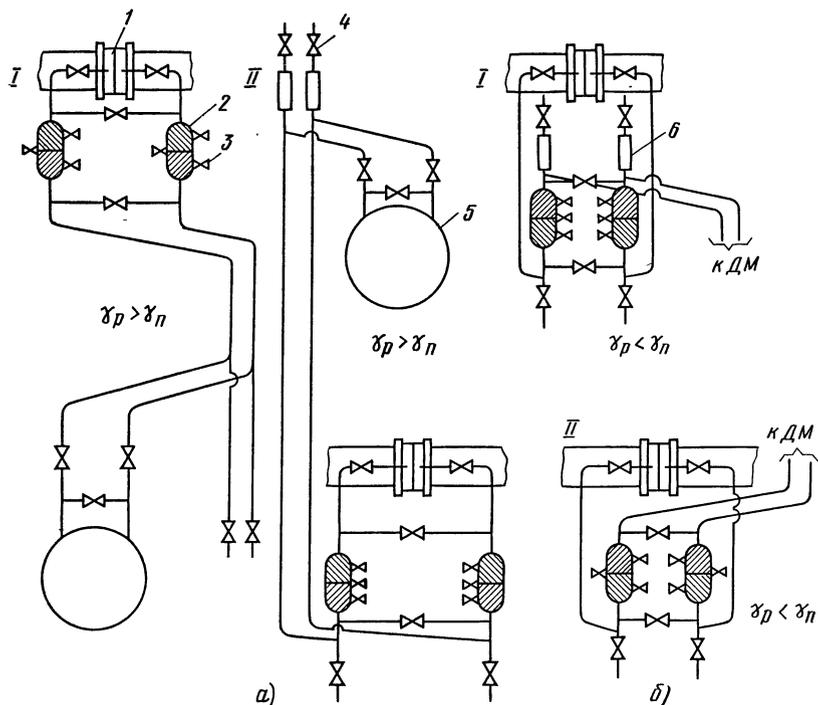


Рис. 159. Типовые схемы обвязки расходомеров для измерения агрессивных жидкостей легче (а) и тяжелее (б) разделительной:

I — дифманометр расположен ниже точки отбора, *II* — то же, выше; 1 — сужающее устройство (диафрагма), 2 — разделительный сосуд, 3 — контрольная пробка, 4 — продувочный вентиль, 5 — дифманометр, 6 — газосборник

не попадал в импульсные линии. Отборы для измерения расходов жидкостей монтируют сбоку трубопровода, так как в верхней части могут образоваться воздушные подушки или будет неполностью заполнено сечение трубопровода жидкостью.

При измерении расхода агрессивных сред для соединения диафрагмы *I* с дифманометром 5 применяют разделительные сосуды и жидкости. Если разделительная жидкость легче измеряемой (рис. 159, а), измеряемую жидкость подводят снизу сосудов 2 и в верхней части трубопровода устанавливают газосборники 6 для сброса воздуха при заливке разделительной жидкости. Для разделительной жидкости, которая тяжелее измеряемой (рис. 159, б), газосборники 6 устанавливают только при установке дифманометра 5 выше точки отбора. Разделительные сосуды устанавливают на одном уровне друг с другом. Если измеряемая жидкость может загустеть при снижении температуры, то разделительные сосуды устанавливают как можно ближе к трубопроводу и теплоизолируют или монтируют устройство обогрева.

Для измерения расхода газов (рис. 160) устанавливают вентили 3 и в случае установки прибора ниже точки отбора — конденсатосборники 4.

При резких изменениях расхода (например, увеличениях) уровень ртути в плюсовой трубке понизится, а в минусовой поднимется и уровень

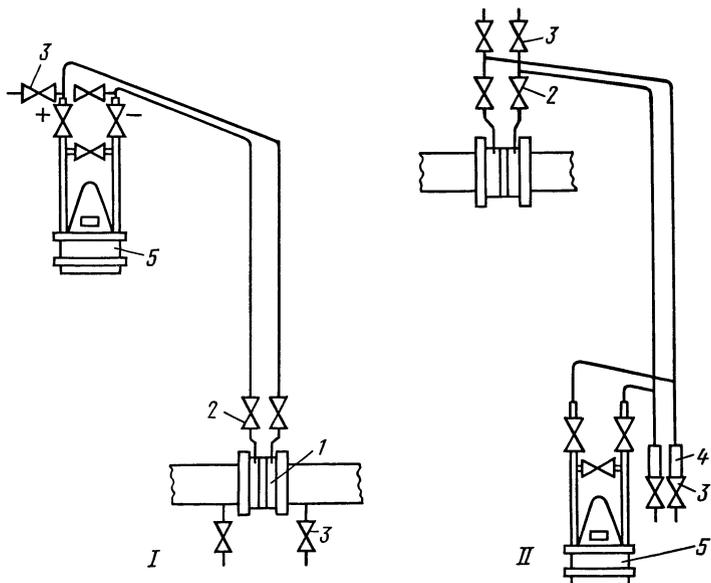


Рис. 160. Измерение расходов газов:

I — прибор выше точки отбора, *II* — то же, ниже; *1* — сужающее устройство, *2* — вентиль, *3* — продувочный вентиль, *4* — отстойные сосуды (конденсатосборники) *5* — дифманометр

конденсата станет различным. Разность уровней конденсата, умноженная на его плотность, будет вносить дополнительную погрешность в показания прибора.

Поэтому при измерении расхода пара на импульсных линиях вблизи места отбора устанавливают конденсационные сосуды *2* (рис. 161), которые представляют собой металлические цилиндрические сосуды с двумя

штуцерами для подсоединения трубок — сбоку и снизу сосуда. Вследствие значительной по сравнению с импульсными линиями вместимостью разделительных сосудов колебания уровня конденсата при резких изменениях расхода будут незначительными и дополнительная погрешность измерений уменьшится. При проверке элементов системы измерения расхода на ее вход подают расчетные перепады и проверяют точность работы прибора. Эту операцию производят по схеме, аналогичной рис. 158, но собранной на месте установки прибора.

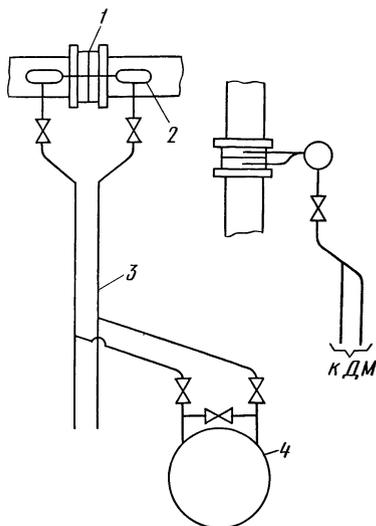


Рис. 161. Схема установки конденсационных сосудов:

1 — диафрагма, *2* — конденсационный сосуд, *3* — импульсные линии, *4* — дифманометр

Перед включением приборов в работу разделительные сосуды и линии заполняют разделительной жидкостью, а конденсационные сосуды — конденсатом. Для этого вывертывают пробку 14 (см. рис. 47) у дифманометра и средние пробки 3 (см. рис. 159, а, I) у разделительных сосудов 2. Вместо пробки 14 ввертывают штуцер, к которому подключают ручной насос. Открывают все вентили, кроме расположенных у отборного устройства, и накачивают разделительную жидкость до появления течи через пробки 3. Затем закрывают вентили у прибора, вывертывают штуцер и ввертывают пробку 14 (см. рис. 47). Вентили не должны пропускать жидкость, чтобы при смене штуцера на пробку она не вытекала.

Для схемы рис. 159, а, II жидкость закачивают через нижние продувочные вентили до ее появления в газосборниках 6. Приоткрывая пробки дифманометра 5, убеждаются, что в камерах есть жидкость. Затем закрывают вентили 4 и через средние пробки 3 сбрасывают излишек жидкости из сосудов. Во время заливки рекомендуется слегка постукивать по трубопроводам.

Дифманометры-расходомеры, предназначенные для измерения расходов нейтральных жидкостей и газов, включают в работу в следующем порядке: сначала открывают коренные вентили у диафрагмы, затем открывают уравнительный вентиль на приборе, после чего открывают плюсовой и минусовой запорные вентили дифманометра и, наконец, закрывают уравнительный вентиль. При выключении дифманометра эти операции выполняют в обратной последовательности.

Если для системы расхода применены устройства непрерывной продувки или промывки отборов, то при их наладке устанавливают одинаковые расходы нейтральной среды. Расстояния от мест врезки устройств в импульсные трассы до диафрагмы должны быть для минусовой и плюсовой линий одинаковыми. При включении устройств и настройке расхода нейтральной среды на дифманометре не должно возникать никакого перепада давлений при отсутствии расхода в технологическом трубопроводе.

Отклонения показаний дифманометра от расчетных значений при работе на действующем оборудовании чаще всего происходят из-за негерметичности линий, соединяющих прибор с диафрагмой. Герметичность системы проверяют следующим образом. Если при закрытии плюсового коренного вентиля стрелка прибора движется к 0, значит негерметична плюсовая трасса; если при закрытии минусового вентиля стрелка прибора движется к максимальному значению измеряемого расхода — негерметична минусовая трасса. Отклонение показаний прибора от расчетных может быть вызвано также отклонением давления или температуры среды от предусмотренных проектом. Особенно часто эти отклонения наблюдаются в пусковой период, когда технологические процессы набирают нагрузку. При анализе точности работы дифманометра эти отклонения необходимо учитывать.

При отклонении давления измеряемой среды от расчетного значения действительный диапазон измерения расхода

$$Q_d = Q_{\max} \sqrt{\frac{p}{p_d}},$$

где Q_{\max} — проектный диапазон измерения; p — расчетное значение давления среды; p_d — действительное значение давления среды.

Пример. Если расчетное значение давления воды 12,1 МПа, а действительное 10 МПа, то действительный диапазон измерения расхода воды расходомером 10 000 м³/ч будет

$$Q_d = Q_{\max} \sqrt{\frac{p}{p_d}} = 10\,000 \cdot \sqrt{\frac{12,1}{10}} = 11\,000 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

При отклонении температуры среды от расчетной действительный диапазон измерений

$$Q_d = Q_{\max} \sqrt{\frac{T_d}{T}},$$

где T — расчетное значение температуры среды; T_d — действительное значение температуры. Отклонения как температуры, так и давления рассчитывают по формуле

$$Q_d = Q_{\max} \sqrt{\frac{T_d \cdot p}{T \cdot p_d}}.$$

Заменяя Q_{\max} на любое текущее значение расхода, можно определить поправку на показания прибора для любой точки шкалы.

Если после устранения негерметичностей, контрольной проверки прибора и введения поправок, связанных с отклонением параметров измеряемой среды от заданных, показания прибора отличаются от расчетных, проводят поверочный расчет диафрагмы. Проверку производят для определения правильности выбора диаметра отверстия диафрагмы:

$$d = \sqrt{\frac{Q_{\max}}{0,01252 \alpha \xi \sqrt{\frac{p_{\max}}{\rho}}}},$$

где α — коэффициент расхода; ξ, ρ — коэффициент расширения и плотность измеряемой среды; Q_{\max} и p_{\max} — расчетные расход и перепад давлений.

Значение ξ для практических расчетов может быть принято за 1. Значение α определяют из графика (рис. 162). Плотность среды ρ известна из проекта или может быть найдена по справочнику. В результате расчета должны быть получены значения d , близкие к действительным.

§ 61. Системы постоянного перепада

Ротаметры применяют для измерения сравнительно малых расходов жидкости в тех случаях, когда диаметр трубопровода не позволяет

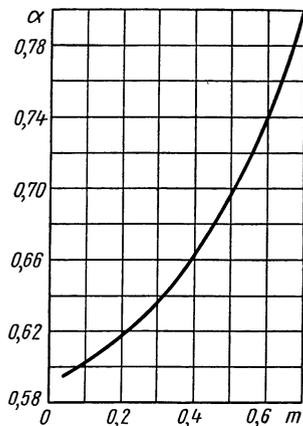


Рис. 162. Коэффициент расхода диафрагм

установить сужающее устройство. Ротаметры используют для контроля расхода жидкости в химической и нефтехимической промышленности. На базе ротаметрической части сконструированы электрические типа РЭ и пневматические РП измерительные преобразователи расхода, построенные по принципу постоянного перепада.

При проверке проектной документации следует иметь в виду, что преобразователи расхода постоянного перепада нельзя применять для измерения расхода загрязненных жидкостей, легко кристаллизующихся и т.п.

Расход агрессивных жидкостей измеряют, используя преобразователи типа РПФ. Последняя буква указывает, что первичный измерительный преобразователь имеет корпус, защищенный фторопластом. Для жидкостей с высоким температурным коэффициентом вязкости или кристаллизующихся применяют преобразователи типа РПО — с паровым обогревом.

В помещениях, где могут образовываться взрыво- и пожароопасные концентрации газовых смесей и паров, применяют электрические преобразователи типа РЭВ во взрывозащищенном исполнении.

Преобразователи устойчиво работают в диапазоне температур измеряемых сред от -40 до $+70$ °С и при температуре окружающей среды от -40 до $+50$ °С. Преобразователи предназначены для работы со вторичными приборами и регуляторами ГСП и имеют класс точности 2,5. Операции по наладке преобразователей рассмотрим на примере ротаметра типа РП.

Для правильности выбора ротаметра следует иметь в виду, что минимальный расход среды, который определяется начальной пропускной способностью прибора и может быть надежно измерен, составляет 20 % от максимального значения измеряемого расхода.

После проведения внешнего осмотра ротаметр устанавливают на стенд для проверки градуировочной характеристики. Градуируют ротаметры по индивидуальным тарировочным графикам, в которых приведены зависимости, позволяющие переводить показания ротаметрической шкалы в единицы расхода и выходного давления. Наличие тарировочных графиков при проведении проверки обязательно, так как результаты тарировки ротаметров одного типа, предназначенных для измерения одного и того же максимального расхода, отличаются друг от друга и, как правило, нелинейны. Различие характеристик и их нелинейность объясняются невозможностью изготовить в производственных условиях поплавки абсолютно одинаковых геометрических размеров.

Определение основной погрешности ротаметров в условиях проведения пусконаладочных работ на вновь строящемся предприятии затруднительно, так как требует монтажа специальной установки для тарировки ротаметров. Лишь в том случае, когда тарировочные графики утрачены или по каким-либо причинам поплавки ротаметра изготовляют вновь, тарировку ротаметров включают в объем наладочных работ на объекте.

Для тарировки ротаметров монтируют установку (рис. 163), представляющую собой мерный куб 1 (размер ребра 1 м), снабженный водомерным стеклом 2. Для создания постоянного давления в линии 4 вода подается из бака 3 с постоянным переливом, установленного на высоте 10—12 м над нижним концом соединительной линии. Ротаметр крепят на фланце, перед фланцем установлены вентиль 5 точной регулировки и пробковый кран 6.

Тарируют ротаметр следующим образом. При открытом кране вентилем устанавливают такой расход воды, при котором стрелка ротаметра устанавливается на проверяемую точку шкалы. Затем кран закрывают и жидкость из мерного куба дренируется в канализацию. После опустошения куба дренаж закрывают, открывают кран и включают секундомер. Секундомер выключают в моменты, когда куб наполнился полностью, наполовину или на четверть своего объема, после чего определяют действительный расход на проверяемой точке. Например, если за 20 мин (0,333 ч)

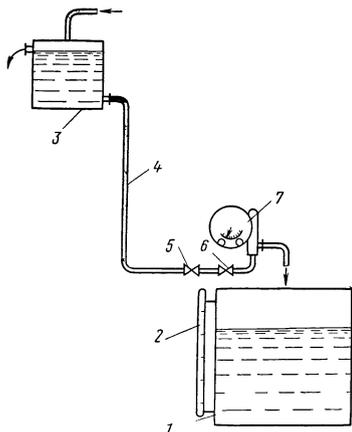


Рис. 163. Установка для тарировки ротаметров:
 1 — мерный куб, 2 — водомерное стекло, 3 — напорный бак, 4 — соединительная линия, 5 — вентиль точной регулировки, 6 — пробковый кран, 7 — ротаметр

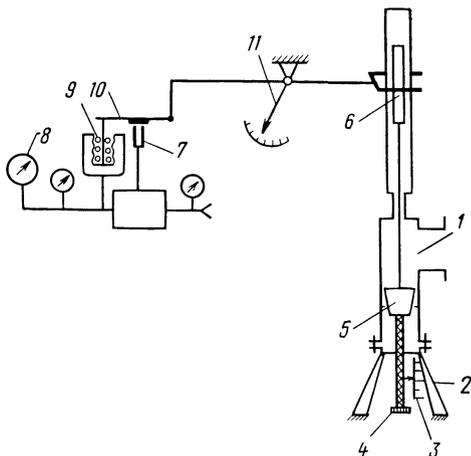


Рис. 164. Схема проверки РП:
 1 — ротаметр, 2 — стойка, 3 — линейка, 4 — микрометрический винт, 5 — поплавком, 6 — магнит, 7 — реле «сопло-заслонка», 8 — образцовый манометр, 9 — сифлон обратной связи, 10 — рычаг, 11 — стрелка прибора

куб наполнился наполовину (500 л) на точке 60 % то действительный расход среды $Q_{60\%} = 500 : 0,333 = 1500$ л/ч. По результатам тарировки определяют основную погрешность

$$\gamma = \frac{Q - Q_T}{Q_{\max}} \cdot 100 \%$$

где Q — измеренный расход на проверяемой точке, л/ч; Q_T — расход по тарировочному графику на проверяемой точке, л/ч; Q_{\max} — максимальный расход, л/ч.

Если тарировочных графиков нет, их составляют по результатам тарировки.

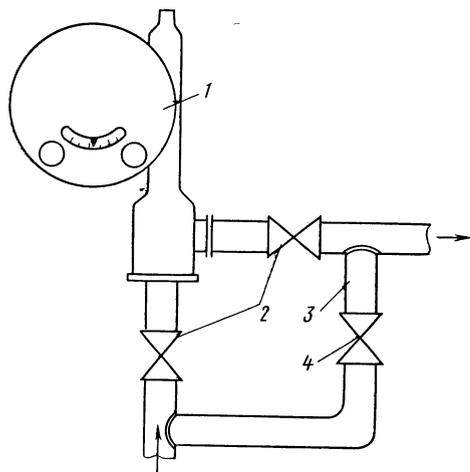
В процессе предмонтажной проверки проверяют работоспособность устройства пневматической передачи показаний. Упрощенная принципиальная схема ротаметра и схема его предмонтажной проверки приведены на рис. 164. Ротаметр 1 устанавливают на специальную стойку 2. Микрометрическим винтом 4 поднимают или опускают шток с укрепленными на нем поплавком 5 и магнитом 6. По линейке 3 точно отсчитывают перемещение поплавка при проверке ротаметров, в тарировочных графиках которых приведена зависимость между измеряемым расходом и ходом поплавка (в мм).

Положение микрометрического винта имитирует расход, так как в процессе измерения увеличение расхода вызывает больший перепад на поплавке и его поднятие на высоту, при которой новый перепад будет уравновешен массой поплавка. Через магнит 6 перемещение поплавка передается на стрелку 11 показывающей части и связанную с ней заслонку 7, приближение заслонки к соплу вызывает увеличение давления в линии сопла,

на выходе усилителя и в сильфоне обратной связи 9. Шток сильфона отводит при этом заслонку от сопла на такое расстояние, чтобы обеспечить пропорциональную зависимость между новым значением расхода и давлением воздуха на выходе, измеряемым образцовым манометром 8.

Так как зависимость показаний прибора от расхода нелинейна, то допустима и некоторая нелинейность зависимости выходного сигнала от расхода. Результаты настройки системы пневмопередачи заносят в таблицу, которую укрепляют на стекле вторичного прибора или рядом с ним на щите. По этой таблице операторы определяют фактический расход жидкости по показаниям вторичного прибора.

При проверке монтажа особое внимание уделяют правильной установке ротаметра на технологическом трубопроводе. Направление движения потока в жидкости должно быть таким, чтобы она входила в вертикальный патрубок и выходила из горизонтального (рис. 165). Обязательно должен быть смонтирован обводной трубопровод 3. До и после ротаметра 1 и на обводной линии устанавливают запорные вентили 2 и 4.



Трубопровод до и после ротаметра должен быть надежно укреплен во избежание тряски и вибрации прибора. Ротаметр устанавливают по отвесу строго в вертикальном положении как можно дальше от побудителей расхода — поршневых и центробежных насосов, так как при не вертикальной установке ротаметра могут заклинить шток

Рис. 165. Схема установки ротаметра на трубопроводе:

1 — ротаметр, 2 — запорный вентиль, 3 — трубопровод обводной, 4 — запорный вентиль на обводном трубопроводе

или поплавков, а всевозможные толчки и вибрация могут быть причинами повреждения ротаметрической части, которые приводят к возникновению дополнительных погрешностей или выходу прибора из строя.

Систему измерения проверяют по искусственным импульсам только для оценки правильности работы пневмопередачи. Открывают крышку прибора и вручную перемещают магнит *б* (см. рис. 164), устанавливая стрелку на какие-либо оцифрованные точки шкалы. При этом стрелка вторичного прибора должна установиться на значении расхода, определяемом по тарифовочному графику. Проверить работу ротаметрической части на уже смонтированном ротаметре по искусственным импульсам невозможно.

Прибор включают в работу в определенной последовательности. Сначала подают питание сжатым воздухом, которое для ротаметров РП составляет 0,14 МПа. Полностью открывают вентиль на обводной трубе, а затем запорные вентили на входе и выходе ротаметра. Ротаметр вклю-

чают постепенным закрытием вентиля на обводной трубе. При включении ротаметра на закрытой обводной линии неизбежны резкие толчки жидкости, которые могут вызвать повреждение или даже заклинивание ротаметрической части, а именно — штока поплавка в направляющих. При остановке агрегатов, побуждающих расход, например насосов, или при остановке технологического процесса необходимо открыть вентиль на обводной трубе и плотно закрыть запорные вентили на линии ротаметра.

При проверке погрешности системы следует иметь в виду, что ротаметр работает точно только при измерении расхода жидкостей, свойства которых близки к свойствам тарировочной жидкости (в большинстве случаев воды). К свойствам жидкостей, в основном влияющих на точность работы ротаметра, относятся плотность и вязкость. Если плотность измеряемой жидкости отличается от плотности тарировочной, то рассчитывают поправочный коэффициент на показания расходомера:

$$\kappa = \sqrt{\frac{(\rho_n - \rho)\rho'}{(\rho_n - \rho')\rho}},$$

где ρ_n — плотность материала поплавка; ρ — плотность тарировочной жидкости; ρ' — плотность измеряемой жидкости.

Соответствующие значения расходов в тарировочной таблице умножают на найденный коэффициент.

Когда вязкость измеряемой жидкости отличается от тарировочной и ее свойства (например, агрессивность, отравляющее воздействие) не позволяют осуществить непосредственную тарировку, производят тарировку в условиях действующего объекта. Совместно с технологическим персоналом измеряемую жидкость направляют в емкость известной вместимости и по времени ее заполнения определяют поправочный коэффициент к показаниям прибора, учитывающей вязкость среды.

Г л а в а X X I

СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ

§ 62. Пьезометрические системы измерения уровня

Пьезометрические системы измерения уровня применяют для контроля уровня жидкости в открытых емкостях или в емкостях, находящихся под небольшим избыточным давлением. На рис. 166 представлены принципиальные схемы измерения уровня как с помощью пьезотрубки и манометра, так и с помощью дифференциального преобразователя перепада давления.

Для измерения уровня в сосудах при отсутствии давления (рис. 166, а) питающий воздух подают через редукционный пневмоклапан *б* в стакан *4*, заполненный жидкостью. Давление воздуха на выходе пневмоклапана измеряют манометром *5*, а расход определяют по числу пузырьков в стакане в единицу времени, например в минуту. Пневмоклапан, манометр и стакан объединяют в одно устройство — блок питания воздухом щитовой (БПВЩ). Воздух от БПВЩ подается в пьезотрубку *2*, а уровень в емкости *1* контролируется вторичным прибором *3*.

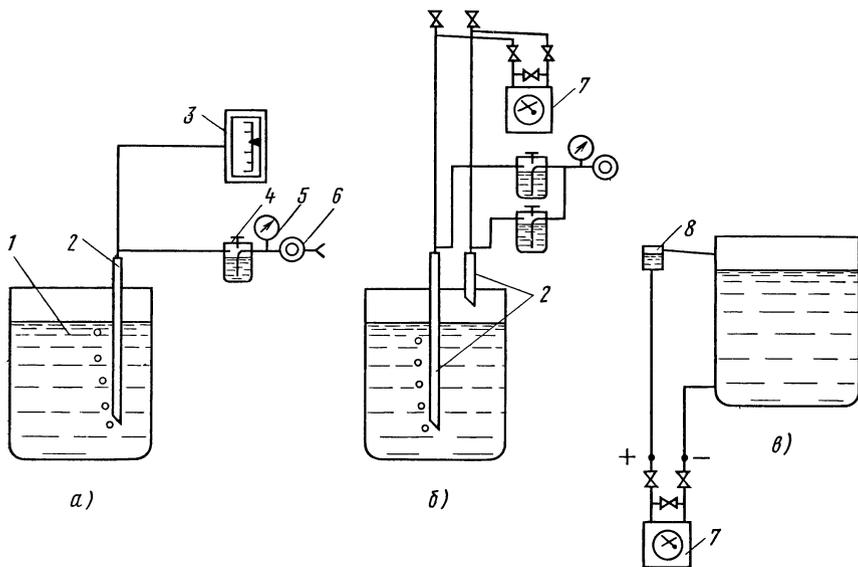


Рис. 166. Монтаж пьезометрических преобразователей уровня в емкости без давления (а) и под давлением с продувкой (б) и без продувки (в) сжатым воздухом:

1 — емкость, 2 — пьезотрубка, 3 — вторичный прибор, 4 — мерный стакан, 5 — технический манометр, 6 — редукционный пневмоклапан, 7 — преобразователь перепада давления, 8 — уравниватель сосудов

При необходимости измерить уровень в сосуде под давлением (рис. 166, б) сжатый воздух подают одновременно в две трубки 2. Трубку, погруженную в сосуд, подключают к плюсовому отбору преобразователя 7.

Для измерения уровня в сосудах под давлением без продувки сжатым воздухом (рис. 166, в) на высоте верхнего значения контролируемого уровня устанавливают уравниватель сосудов 8, соединенный с плюсовым отбором преобразователя 7. В этом случае максимальный перепад давлений будет при пустой емкости, а нулевой — при наполненной до верхнего предела. Поэтому шкала преобразователя в этом случае будет обратной.

Существует зависимость $p = H\varrho - p_0$, где p — давление в пьезотрубке, Па; H — уровень среды над концом трубки, м; ϱ — плотность среды, кгс/см³; p_0 — давление газа над жидкостью. Очевидно, что при постоянных ϱ и p_0 давление p пропорционально уровню жидкости H .

Особое внимание уделяют проверке правильности монтажа отборных устройств и преобразователей. При проверке монтажа систем обращают внимание на длину пьезотрубок и глубину их погружения в сосуды, места врезки питающих линий в импульсные и на высоту установки уравнительных сосудов. Герметичность всей системы проверяют в комплекте, включая в себя и БПВЩ. Диаметр пьезотрубки выбирают в 2—3 раза большим, чем диаметр импульсной линии.

Перед включением в работу системы измерения необходимо убедиться, что давление воздуха на выходе БПВЩ больше, чем давление в пьезотрубке p . Затем в уравнительные сосуды заливают жидкость.

Наладка систем на действующем оборудовании сводится к правильному подбору расхода питающего воздуха. С уменьшением расхода питающего воздуха повышается точность работы системы, но снижается ее быстродействие, а также повышается чувствительность системы к самым малым негерметичностям импульсных линий. При увеличении расхода питающего воздуха быстродействие системы увеличивается, но снижается точность ее работы.

Как правило, точность работы пьезометрических уровнемеров связана с отклонением плотности измеряемых сред от расчетных значений. При непостоянной плотности жидкости в сосуде иногда приходится измерять массовое количество вещества в объеме. Для перехода к измерению количества необходимо знать приращение объема резервуара на единицу высоты. Для резервуаров в форме цилиндра с диаметром D

$$V = \frac{\pi D^2}{4} \cdot H.$$

Коэффициент приращения объема для цилиндра

$$\kappa_V = \frac{\pi D^2}{4}.$$

Преобразователь измерит давление $p = \kappa_V \rho H$, которое будет пропорционально количеству вещества в сосуде.

Систему контроля количества вещества дополняют системой сигнализации предельного значения уровня, чтобы не допустить переполнения сосуда. Система сигнализации предельного давления в гидростатической системе контроля количества вещества должна быть настроена на давление $p = H_{\max} \rho_{\min} \kappa_V$, где H_{\max} — высота емкости; ρ_{\min} — минимальное значение плотности среды.

§ 63. Буйковые преобразователи уровня

Буйковые преобразователи типа УБ-П предназначены для непрерывного преобразования уровня жидкости в резервуарах, находящихся под атмосферным или избыточным давлением, в унифицированный пневматический сигнал.

Диапазон измерения преобразователей УБ-П от 0—0,02 до 0—16 м, а допускаемое предельное значение избыточного давления —6,4; 10 или 16 МПа в зависимости от модификации.

Преобразователь устанавливают в помещениях или на открытых площадках, где температура наружного воздуха колеблется от —50 до +50 °С.

Проверкой технической документации устанавливают соответствие выбранного диапазона измерения требуемой зоне контроля уровня и соответствие модификации преобразователя диапазону изменения плотности жидкости. Максимальную точность контроля уровня определяют с учетом того, что основная погрешность пневмопередачи не превышает 1 %, а местного указателя —2 %. Если уровень должен измеряться в емкости, где установлены смесители или производится орошение потоком сверху, то проектом должно быть предусмотрено применение преобразователя с выносной камерой.

К проверке преобразователей УБ-П предъявляются повышенные тре-

бования, так как демонтаж их в случае неполадок затруднен из-за большой массы приборов, а также невозможен без остановки технологического процесса, так как преобразователь устанавливают на технологическом оборудовании без каких-либо устройств, позволяющих заглушить люк, в который опускается буюк.

На производственной базе наладочной организации трудно создать установку для непосредственной проверки преобразователей уровня (длина буйков может достигать 10 м). Поэтому их проверяют сухим или массовым методом.

Для проведения проверки основной погрешности прибор устанавливают на специальный стол 1 (рис. 167) и подвешивают буюк. Длинные буйки помещают на грузовую площадку непосредственно или заменяют набором гирь, масса которых соответствует массе буйка в воздухе.

Масса буйка в воздухе будет являться массой, имитирующей нулевое значение уровня в том случае, если плотность паров или газов при рабочем давлении менее $0,05 \text{ г/см}^3$. В противном случае массу, соответствующую нулевому значению уровня, определяют как разность между массой буйка в воздухе G_b и выталкивающей силой при погружении в плот-

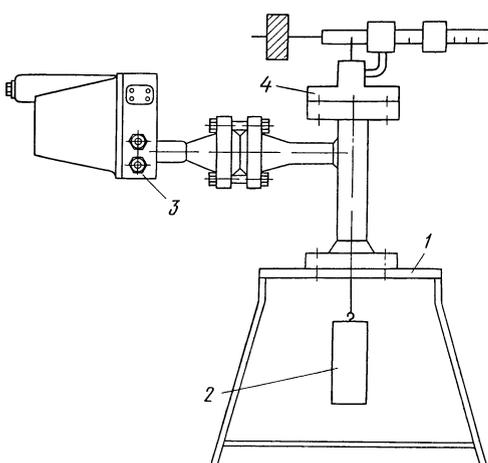


Рис. 167. Проверка преобразователя уровня «сухим» методом: 1 — стол, 2 — поплавок, 3 — преобразователь, 4 — ИУ-182

ный газ $G_r = \rho_r V$. Масса поплавок, соответствующая полному его погружению, равна $G_{100\%} = \rho_{ж} V$ или в общем случае $G_{100\%} = (\rho_{ж} - \rho_r) V$. Масса буйка, соответствующая любому промежуточному значению уровня, $G = G_b - (\rho_{ж} - \rho_r) V \cdot \frac{n}{100}$, где n — значение уровня на проверяемой точке, % шкалы прибора; ρ_r , $\rho_{ж}$ — плотность соответственно газа и жидкости; V — объем буйка.

Если преобразователь предназначен для измерения уровня раздела фаз (например, воды и нефтепродуктов в отстойниках нефтеперерабатывающих заводов), то массу буйка рассчитывают по этой же формуле, заменяя ρ_r на $\rho'_{ж}$, где $\rho'_{ж}$ — плотность нефтепродуктов.

Для проверки преобразователя на заданном значении уровня определяют массу буйка для этого значения и, вычитая ее из массы, соответствующей нулевому значению уровня, находят выталкивающую силу перемещением грузов по линейкам ИУ-182.

На практике для определения выталкивающей силы удобно пользоваться табл. 23.

Пример. Определить выталкивающую силу для проверки преобразователя УБ-11. Длина буйка 0,6 м, диаметр 50 мм. Преобразователь предназначен для измерения уровня спирта с $\rho_c = 0,75 \text{ г/см}^3$

По табл. 23 находим для буйка длиной 1 м и диаметром 50 мм значения выталкивающей силы для $\rho_{0,7}$ и $\rho_{0,8}$ соответственно 13,75 и 15,71 Н. Среднее значение для $\rho_{0,75} = \frac{13,75 + 15,71}{2} = 14,73$ Н. Для буйка длиной 0,6 м $G_{0,6} = 14,73 \cdot 0,6 = 8,84$ Н. Для проверки значений 20; 40; ... 80 % значения выталкивающей силы следующие: $G_{20} = G_{0,6} \cdot 0,2 = 8,84 \cdot 0,2 = 1,78$ Н, $G_{40} = 8,84 \cdot 0,4 = 3,56$ Н, ... $G_{80} = 7,12$ Н. Эти значения устанавливают на линейках ТИ-182.

Т а б л и ц а 23. Выталкивающая сила (Н) для буйка длиной 1 м при различных плотности жидкости и диаметре поплавка

Диаметр поплавка, мм	Плотность жидкости, г/см ³													
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
11	0,47	0,570	0,665	0,760	0,855	0,950	1,046	1,141	1,236	1,331	1,426	1,521	1,616	1,711
12	0,56	0,679	0,792	0,905	1,018	1,131	1,244	1,357	1,470	1,584	1,697	1,810	1,923	2,036
14	0,77	0,924	1,078	1,232	1,386	1,540	1,694	1,847	2,001	2,155	2,309	2,463	2,617	2,771
16	1,005	1,207	1,408	1,609	1,810	2,011	2,212	2,413	2,614	2,815	3,016	3,217	3,418	2,620
20	1,571	1,885	2,199	2,514	2,828	3,142	3,456	3,770	4,085	4,398	4,713	5,027	5,341	5,656
25	2,455	2,946	3,437	3,928	4,418	4,909	5,400	5,891	6,382	6,873	7,364	7,855	8,346	8,837
30	3,535	4,242	4,949	5,656	6,362	7,070	7,776	8,483	9,19	9,90	10,60	11,31	12,02	12,73
32	4,02	4,83	5,63	6,43	7,24	8,04	8,85	9,65	10,46	11,26	12,07	12,87	13,67	14,48
38	5,67	6,81	7,94	9,07	10,21	11,34	12,48	13,61	14,75	15,88	17,01	18,15	19,28	20,42
45	7,95	9,54	11,13	12,73	14,32	15,91	17,50	19,09	20,68	22,27	23,86	25,45	27,04	28,63
50	9,82	11,78	13,75	15,71	17,68	19,64	21,60	23,57	25,53	27,50	29,46	31,42	33,39	35,35
60	14,14	16,97	19,79	22,62	25,45	28,28	31,11	33,93	36,76	39,59	42,42	45,24	48,07	50,90
75	22,09	26,51	30,93	35,35	39,77	44,18	48,60	53,02	57,44	61,86	66,28	70,69	75,11	79,53

Для проверки основной погрешности и вариации на вход прибора подают питание сжатым воздухом давлением 0,14 МПа, а на выход подключают образцовый манометр. Выходное давление прибора фиксируют последовательно на точках, соответствующих 0; 20; ...; 100 % уровня. Основная погрешность

$$\gamma = \frac{p - p_p}{0,08} \cdot 100 \%,$$

где p — показания образцового манометра, МПа; p_p — расчетное значение (0,02; 0,036, ..., 0,1), МПа.

Более точно, но более трудоемко основную погрешность определяют подбором грузов так, чтобы стрелка манометра установилась на расчетное значение давления. В этом случае

$$\gamma = \frac{G_p - G}{G_{\max}} \cdot 100 \% \leq 1 \%,$$

где G_p — расчетное значение, равное $G_b - \rho_{ж} V \times (n/100)$; G — действительная масса, установленная на линейках; G_{\max} — значение выталкивающей силы, соответствующей полному погружению буйка (по табл. 23).

В тех случаях, когда основная погрешность или вариация преобразователя превышает допускаемые значения, производят юстировку. Если корректором нуля 8 (см. рис. 51) не удастся установить нулевое значение, его устанавливают грубо уравниванием начальной массы буйка с помощью грузов 6, перемещая их по рычагу 5, а затем корректором нуля — точно. При необходимости верхнее и нижнее значения диапазона измерения настраивают перемещением в нужном направлении опоры 7.

При проведении проверки желательно установить зависимость между изменением значения статического давления в резервуаре и возникающей в результате этого дополнительной погрешностью. Для проверки преобразователь устанавливают на герметичный сосуд, на рычаг 3 подвешивают груз, соответствующий промежуточному значению уровня в диапазоне измерений. Затем записывают значение выходного сигнала и в сосуд подают давление. Если при подаче давления $p_{\text{вых}}$ изменилось более чем на 120 Па, то это свидетельствует об отклонении рычага 3 от перпендикулярного положения по отношению к мембране 4. Узел подвески рычагов может быть перемещен вверх или вниз с помощью четырех винтовых пробок, вращаемых торцовым ключом. Если при подаче статического давления $p_{\text{вых}}$ увеличивается, то, отворачивая верхние и вворачивая нижние пробки, узел подвески перемещают вверх, если же $p_{\text{вых}}$ уменьшается, — вниз.

Преобразователи УБ монтируют, как правило, одновременно с основным технологическим оборудованием. Наладочному персоналу рекомендуется наблюдать за ходом монтажа. Бук должен иметь тот же номер, что и сам прибор. Если в сосуде, на котором устанавливают УБ, монтажно-технологические работы не окончены, например сосуд на заполнен насадкой или катализатором, навешивать буюк не рекомендуется во избежание его поломки или обрыва.

Длину троса, на котором подвешивают буюк, выбирают такой, чтобы нижний конец буйка совпал с расчетной нулевой отметкой уровня в сосуде. Если в емкости могут быть вертикальные потоки жидкости, то над точкой ввода рычага в аппарат к внутренней поверхности емкости приваривают защитный козырек. При наличии кругового или неупорядоченного движения жидкости в аппарате буюк на всю длину помещают в защитную трубу, закрепленную в емкости и открытую снизу. Диаметр трубы должен быть в 2—3 раза больше, чем диаметр поплавка. В трубе высверливают отверстия для выравнивания давления в трубе и емкости.

Систему проверяют в порядке, общем для систем пневмоавтоматики.

В процессе пуска технологического производства при расхождении показаний преобразователя с технологическими данными проверяют герметичность трассы, вторичный прибор и сам УБ. При исправности всех узлов проверяют действительную плотность среды, уровень которой измеряется и, если она отклоняется от расчетной, вносят коррекцию в показания системы.

ИУ-182 позволяет, при необходимости, проверить преобразователь непосредственно на месте установки. Для этого, убедившись в том, что в емкости, где измеряется уровень, или в камере преобразователя отсутствует давление, закрепляют испытатель на верхнем фланце с помощью узла 14 (см. рис. 119). Захват 15 надевают на рычаг преобразователя, а на его выход подключают пневмотестер. Жидкость из резервуара дренируют и проверяют соответствие давления на выходе УБ нулевому значению — 0,02 МПа. Перемещая грузы 6 и 7 по линейкам, проверяют давление воздуха на нескольких характерных точках. Проведение работ по проверке буюковых преобразователей уровня на действующем оборудовании производится только по разрешению администрации цеха (установки). Снятие фланцев преобразователей и изменение уровня жидкости в резервуарах производится технологическим персоналом установки.

СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЕЩЕСТВ

§ 64. Системы измерения содержания кислорода

Одним из важнейших условий надежной и четкой работы систем измерения состава газов является правильный выбор вспомогательных устройств, обеспечивающих подготовку газовой смеси к проведению анализа. Нормальная работа газоанализаторов, в том числе магнитных, может быть обеспечена только при выполнении следующих требований технических условий на их эксплуатацию: отсутствие в анализируемой смеси компонентов, не указанных в технических условиях; отсутствие или допустимая концентрация вредных или агрессивных компонентов по отношению к выбранному типу анализаторов; предельно допустимые концентрации твердой и жидкой фаз; требуемые температура, давление и расход анализируемой смеси через анализатор.

При анализе проектной документации необходимо четко определить химический состав анализируемой смеси газов и ее физические характеристики и затем сопоставить их с выбранным анализатором и комплектом вспомогательных устройств. Так, если в анализируемой смеси имеются туман жидкости и высокая концентрация твердой фазы, газоанализатор, предназначенный для измерения сухого и чистого газа, снабжают фильтром и влагоотделителем.

Для химической очистки, дозирования газа и изменения его давления и температуры устанавливают вспомогательную аппаратуру.

Место установки анализатора должно обеспечивать максимальное его быстродействие, а параметры окружающей среды должны соответствовать инструкции. В случае измерения газовых смесей, содержащих токсичные или агрессивные компоненты, помещение, где устанавливается анализатор, оборудуют сбросным коллектором.

Предмонтажную проверку приборов газового анализа рекомендуется начинать на складе оборудования, когда монтажный персонал получает комплекты систем. Для этой цели выделяют наладчика, который вместе с монтажниками получает оборудование и при этом проверяет строгое соответствие типов прибора и вспомогательной аппаратуры указанным в проекте автоматизации; полноту комплекта измерения; наличие баллонов с контрольными газовыми смесями и состав газовых смесей; наличие специнструмента, оснастки и инструкций на аппаратуру. При приемке проводят внешний осмотр аппаратуры. Переданные в наладку системы контроля состава газов комплектно размещают на стеллажах производственной наладочной базы на объекте.

Наладку систем контроля содержания кислорода рассмотрим на примере газоанализатора МН-5130, являющегося базовой моделью газоанализатора типа МН. Газоанализаторы МН предназначены для измерения в различных по составу и свойствам смесях объемного содержания кислорода в диапазонах от следов кислорода до 100 %-ного содержания.

Основными элементами МН-5130 являются рабочий *I* (рис. 168) и сравнительный *II* мосты, получающие питание от обмоток 5-6 и 3-4

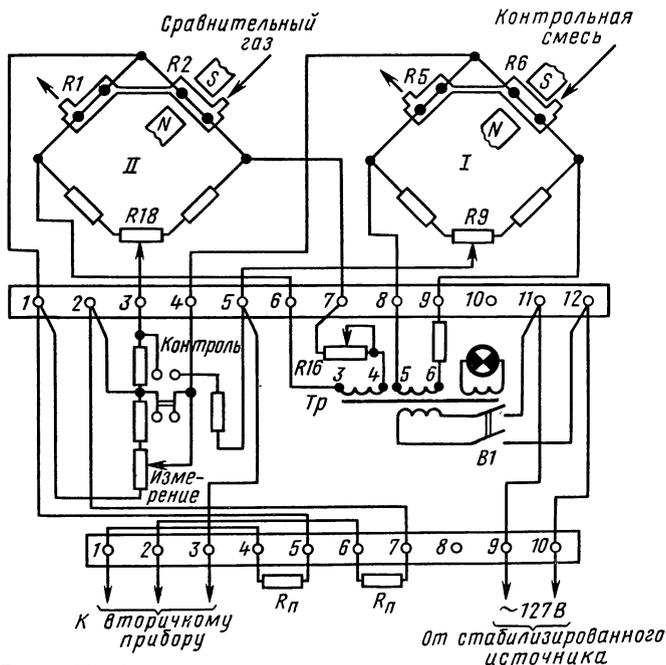


Рис. 168. Принципиальная электрическая схема измерения содержания кислорода

трансформатора Tr . Через плечи $R5$ и $R6$ пропускают анализируемую смесь, а через $R1$ и $R2$ — воздух, в котором содержится 21 % кислорода. Если содержание кислорода в анализируемой смеси не 21 %, напряжение в измерительной диагонали моста I станет не равным напряжению моста II .

Для регулировки напряжения на выходе мостов предусмотрены переменные резисторы $R18$ и $R9$. Резистором $R16$ изменяют чувствительность, или, что одно и то же, диапазон измерения газоанализатора. Напряжения рабочего I и сравнительного II мостов подаются на вход вторичного прибора — модифицированного электронного моста (с исключенной на входе мостовой схемой). На реохорде электронного моста производится их сравнение и в случае неравенства — компенсация изменением положения движка, связанного со стрелкой, показывающей части моста на реохорде.

Для проведения предмонтажной проверки МН-5130 устанавливают на поворотную раму и на его вход через редукционный клапан и ротаметр подают контрольную смесь из баллона. Если контролируют токсичную смесь, то после анализатора ее направляют в вытяжную систему. Исправность вторичного прибора проверяют по схеме рис. 169.

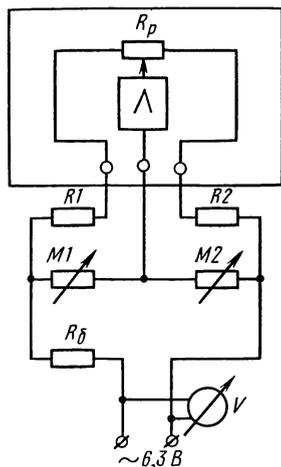
Порядок проверки вторичного прибора следующий. На магазине $M1$ устанавливают сопротивление 1 Ом, а на магазине $M2$ —94 Ом. Одновременно изменяют сопротивления $M1$ и $M2$ таким образом, чтобы их сумма оставалась равной 95 Ом. Если нулевое значение показаний прибора обеспечивается при $M1$ от 4 до 8 Ом ($M2 = 95 - 4...8$), а максимальное — при $M1$ от 85 до 90 Ом и при этом в пределах всей шкалы при изменении

сопротивлений обоих магазинов одновременно на 1 Ом стрелка показывающей части перемещается на $1,3 \pm 0,5 \%$ от диапазона шкалы прибора, то прибор считается исправным.

Регулируют газоанализатор немагнитным инструментом. После прогрева определяют правильность фазировки прибора. Если при подключении стрелочный указатель уходит за пределы шкалы и становится на упор, меняют местами питающие концы на зажимах 9 (см. рис. 168) и 10 анализатора. При переключении переключателя рода работ 6 (рис. 170) в положе-

Рис. 169. Принципиальная схема проверки вторичного прибора:

R_1, R_2 — подгоночные катушки с сопротивлением по 0,5 Ом, M_1, M_2 — магазин сопротивлений, постоянное сопротивление 30 Ом, R_p — реохорд



ние «Контроль» указатель вторичного прибора должен уйти вправо до упора. Если этого не происходит, меняют местами концы проводов соединительной линии на зажимах 1—3 МН-5130.

Для проверки электрического нуля прибора переключатель рода работ 6 ставят в положение «Измерение» и рукояткой 2 магнитный шунт опускают до упора. При этом стрелка вторичного прибора должна установиться на красную реперную точку по середине шкалы. Если стрелка не установилась в необходимой зоне, ее устанавливают на красную реперную точку вращением оси 3 резистора «0». Затем магнитный шунт поднимают вверх до упора, переключатель рода работ устанавливают в положение «Контроль» и вращением оси 4 резистора «Размах шкалы» стрелочный указатель устанавливают на крайнюю правую точку шкалы прибора. После этих операций проверяют работу анализатора по контрольным смесям. В качестве смеси с нулевым содержанием кислорода рекомендуется брать чистый азот.

Показание газоанализаторов, диапазон измерения которых включает точку 21 % (процентное содержание кислорода в воздухе), проверяют подачей в качестве контролируемой смеси воздуха. Расход смеси устанавливают 0,7 л/ч, давление — до 0,055 МПа.

При проверке монтажа систем контроля содержания кислорода устанавливают соответствие газовой и электрической схемы проекту автоматизации (рис. 171). МН-5130 и вторичный электронный мост соединяют кабелем с медными жилами, цепи питания и измерительные прокладывают отдельными кабелями. Газовую схему выполняют стальными трубами. Все устройства и газоанализаторы монтируют строго вертикально.

После проверки монтажа линий подгоняют сопротивление до значения 2,5 Ом. Для этого закорачивают зажимы А и Б моста и измеряют сопротивление шлейфа. Затем с помощью подгоночных катушек R_n (см. рис. 168), установленных на зажимах 4—5 и 6—7, сопротивление каждого провода устанавливают 2,5 Ом.

Для проверки герметичности газовой схемы на ее вход подают от пневмотестера воздух давлением 0,07—0,08 МПа и выход газовой схемы

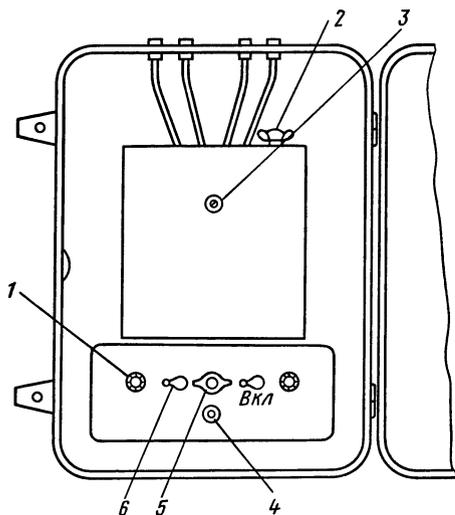


Рис. 170. Газоанализатор МН-5130:
 1 — держатель предохранителя, 2 — рукоятка магнитного шунта, 3 — ось потенциометра «Установка нуля», 4 — ось потенциометра «Размах шкалы», 5 — сигнальная лампа, 6 — переключатель рода работ

заглушают. При этом в течение 10 мин не должно наблюдаться падения давления по образцовому манометру.

Опробование по искусственным импульсам на месте установки аналогично уже рассмотренным операциям при предмонтажной проверке.

После прогрева комплекта проверяют его фазировку и показания на реперных точках. Затем на вход системы подключают контрольную смесь и проверяют работу комплекта.

Включают газоанализатор в работу следующим образом. Газовую линию отсоединяют от блока контроля и, открыв запорный вентиль 5 (см. рис. 171) на отборе газа, редукционным пневмоклапаном 4 устанавливают давление газа до 0,055 МПа и продувают линию.

Подключив блок контроля к газовой линии, по ротаметру 6 устанавливают расход смеси, при котором шарик ротаметра находится на середине его корпуса и свободно вращается.

Показания газоанализатора проверяют по данным лабораторных анализов. При расхождении показаний прибора с данными непосредственного анализа проверяют параметры и химический состав анализируемой смеси, а также расход и давление смеси на входе в приемник. Если эти параметры соответствуют техническим условиям, повторно настраивают комплект по контрольным смесям.

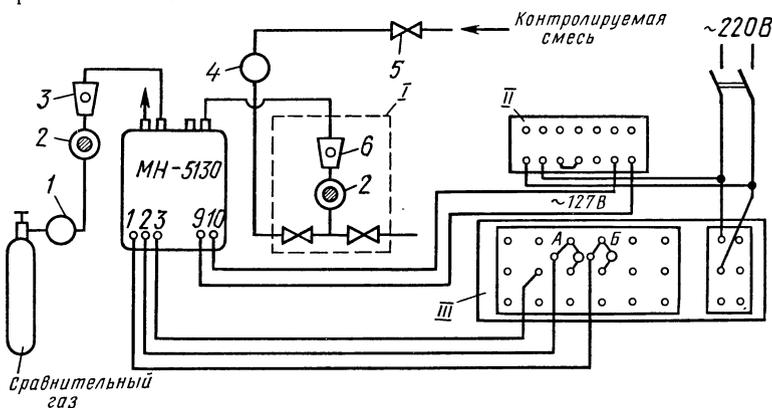


Рис. 171. Схема внешних соединений и газовая схема газоанализатора МН-5130:
 1, 4 — редукционные пневмоклапаны, 2 — фильтр, 3, 6 — ротаметры, 5 — вентиль, I — блок контроля, II — стабилизатор, III — электронный мост

§ 65. Измерительные преобразователи плотности

Сильфонные измерительные преобразователи плотности работают в комплекте со стандартными пневматическими или электрическими токовыми передающими преобразователями. При рассмотрении проекта автоматизации необходимо иметь в виду, что преобразователи измеряют плотность чистых текучих жидкостей, температура которых может иметь значения от 5 до 100 °С, а плотность — 0,5—2,5 г/см³. Преобразователь может быть настроен на один из девяти стандартных диапазонов измерения, которые имеют значения от 0—0,08 до 0,5 г/см³. Поскольку расход жидкости через преобразователь ограничен значением 7 л/мин, при измерении плотности жидкости на линиях, имеющих большее значение расхода, преобразователь устанавливают на обводных трубопроводах. Статическое давление в системе, для которой предусматривается использовать преобразователь плотности, не должно превышать 2,5 МПа.

После проведения внешнего осмотра преобразователь устанавливают на рабочее место и надежно хомутами закрепляют за специальные стойки или конструкции. В процессе предмонтажной проверки определяют равенство моментов, создаваемых сильфонами 4 (см. рис. 52) и 7 на рычаге относительно точки опоры 6. Для этого к передающему преобразователю в соответствии с его типом подводят электрическое питание или сжатый воздух и корректором нуля устанавливают выходное давление (или выходной ток) 0,02 МПа (0 мА). Затем штуцер 9 заглушают, а к штуцеру 10 от задатчика стенда ЛТ-40 подводят давление 0,008—0,01 МПа. При этом значение выходного сигнала преобразователя должно измениться не более чем на половину предела допускаемой основной погрешности. Если это условие не соблюдается, то перемещением опоры 6 добиваются равенства плеч рычага относительно сильфонов 4 и 7. Для перемещения опоры давление снимают, ослабляют винты, крепящие скобы, и перемещают их в пазах на небольшие расстояния. Если при подаче давления на штуцер 10 выходной сигнал преобразователя увеличивается, то опору перемещают вверх, в противном случае — вниз. После регулировки устанавливают нулевое значение выходного сигнала и, подавая испытательное давление, снова проверяют равенство моментов.

Для проверки основной погрешности и вариации к штуцеру 10 подключают сильфонный пресс и образцовый манометр МКВ, микроманометр или ППР-2М. Выходное давление (ток) передающего преобразователя измеряют манометром 1226 (потенциометром и образцовой катушкой сопротивления). Закрывают вентиль 8 и подают на штуцер 10 давления, при которых стрелка образцового прибора, измеряющего значение выходного сигнала, установится на значениях, соответствующих 20; 40; 60; 80 и 100 % диапазона изменения унифицированного сигнала.

Погрешность преобразователя $\gamma = [(p_p - p_0) / (p_k - p_n)] 100 \%$, где p_0 и p_p — соответственно измеренные по образцовому микроманометру и расчетные значения давления, МПа; $p_k - p_n$ — изменение гидростатического давления, соответствующего максимальному значению диапазона.

Расчетное значение давления $p_p = k Q_{\max} H$, где k — точка диапазона, которую проверяют; H — база преобразователя, см; Q_{\max} — предельное значение диапазона изменения плотности, г/см³.

Пример. Проверяется сильфонный преобразователь типа ПЖС-П с диапазоном измерения $0-0,4 \text{ г/см}^3$, класса точности 1,0. База преобразователя 60 см. Требуется определить расчетные значения проверочного давления для значений 25; 50 и 75 % диапазона измерения:

$$p_{p25} = \kappa Q_{\max} H = 0,25 \cdot 0,4 \cdot 65 = 600 \text{ Па};$$

$$p_{p50} = 1200 \text{ и } p_{p75} = 1800 \text{ Па}.$$

Предел допускаемой основной погрешности отклонения действительного давления на входе от расчетного $\delta = p_{p\max} \kappa$, где κ — класс точности преобразователя.

Если точность образцового прибора на выходе выше, то основную погрешность определяют, устанавливая входное давление на расчетное значение и фиксируя отклонение выходного сигнала от расчетного значения. В этом случае $\delta = (p_k - p_0) \times \kappa$ или $I_{\kappa \kappa}$.

Перед включением в работу полости сильфонов заполняют эталонной жидкостью. Для этого открывают вентиль δ и заливают жидкость до тех пор, пока она не начнет выливаться из свободного патрубка.

Рекомендуется применять предварительное вакуумирование полостей сильфонов. В качестве эталонной обычно используют измеряемую жидкость, плотность которой равна нижнему пределу диапазона измерения преобразователя.

§ 66. Системы измерения рН растворов

При изучении проекта автоматизации обращают внимание на правильность выбора типа датчиков. Для общепромышленных измерительных систем применяют погружные ДПг-4М и магистральные ДМ-5М датчики. Глубина погружения — расстояние от фланца до защитной тарелки — для ДПг-4М 1,1; 1,6 или 2 м, а внутренний диаметр протока ДМ-5М — 30 мм. Давление в аппаратах или в трубопроводах, где измеряют рН, не должно превышать 0,6 МПа. Для датчиков, устанавливаемых на аппаратах и трубопроводах с избыточным давлением, проектом предусматривается подача давления от сети сжатого воздуха, перекрывающего давление в аппарате на 0,08 МПа.

Особое внимание обращают на номинальные значения температуры измеряемой жидкости и ее рН в нормальном режиме работы оборудования. Эти значения позволяют оценить правильность выбора электродной системы и вида компенсации погрешности измерения, вызываемой изменением температуры контролируемой жидкости. По полученным данным, пользуясь стандартами, определяют, какой тип электрода должен быть применен. Например, если измеряется рН раствора серной кислоты, значение которого в нормальном режиме $\text{pH} = 4$, то для измерения выбирают стеклянный электрод типа ЭСП-04-14 или ЭСП-06-14. Во всех случаях тип электродной системы должен быть таким, чтобы координата изопотенциальной точки, в которой э.д.с. системы при заданном рН не зависит от температуры, была наиболее близкой к номинальному значению. Если в регламенте имеются указания на возможность колебания температуры, то предусматривают автоматическую термокомпенсацию погрешностей, возникающих от этих колебаний. Во всех случаях температура измеряемой жидкости не должна превышать 100°C .

В качестве примера в табл. 24 и 25 приведены условия применимости стеклянных электродов в зависимости от параметров среды и значения э.д.с. электродной системы 000 700 (первые три цифры обозначают э.д.с., а вторые — значение рН для изопотенциальной точки). Очевидно, что выбор такой системы желателен при измерении рН нейтральных стоков, например после очистных сооружений. Для измерения рН кислоты, расположенного в предыдущем абзаце, целесообразно выбрать систему — 203 413 с координатами $pH_n = 4,13$ и э. д. с. 203 мВ.

Т а б л и ц а 24. Применение измерительных электродов в зависимости от температуры жидкости и рН раствора (ГОСТ 16287—77)

Тип электрода	Диапазон возможного изменения температуры среды, °С	Диапазон изменения, рН	Максимальное давление анализируемой среды, МПа
1	0—40	0—10	0,6
2	25—100		
3	15—80	0—9	1,2
4	70—150	0—8	

Т а б л и ц а 25. Значение э. д. с. (мВ) электродной системы 000 700 ($E_n = 0$ мВ, $pH_n = 7$ рН)

рН	Температура раствора, °С			рН	Температура раствора, °С		
	0	20	80		0	20	80
-1	438,8	464,5	559,5	7	0	0	0
0	378,7	406,4	489,6	8	-54,1	-58,1	-69,0
1	324,6	348,4	419,6	9	-108,2	-116,1	-139,9
2	270,5	290,3	349,7	10	-162,3	-174,2	-209,8
3	216,4	232,2	279,8	11	-216,4	-232,2	-279,8
4	162,3	174,2	202,8	12	-270,5	-290,3	-349,7
5	108,2	116,1	139,9	13	-324,6	-348,4	-419,6
6	54,1	59,1	69,0	14	-378,8	-406,4	-489,6

В качестве измерительных и передающих преобразователей с датчиками рН применяют высокоомные преобразователи типа П-201 или П201.1 со встроенным показывающим миллиамперметром. Эти преобразователи применяют, когда помещения, в которых устанавливают датчики и преобразователи, не являются взрывоопасными. В случае расположения элементов систем в помещениях категорий В-1, В-1а, В1-б и В1-г применяют преобразователи П-201И. Для соединения датчиков с преобразователями используют коаксиальный кабель типа РК-50, РК-75 или РК-100. Расстояние от места установки датчика до преобразователя не должно превышать 150 м, а емкость кабеля 220 мкФ. Для системы взрывозащищенного исполнения предельно допустимая емкость кабеля зависит от категории взрывоопасной смеси и составляет, например, для смесей второй категории 0,01 мкФ, а четвертой $4 \cdot 10^{-4}$ мкФ. Определяя по справочнику емкость пре-

дусмотренного проектом кабеля, которая, например, для кабеля РК-50-4-11 равна $100 \cdot 10^{-6}$ мкФ, определяют предельно допустимую его длину. Для смесей второй категории $l_{\max} = 0,01 : 100 \cdot 10^{-6} = 100$ м. В качестве измерительных приборов для систем выбирают миллиамперметры или потенциометры, устанавливаемые в ЦПУ.

После внешнего осмотра собирают схему для предмонтажной проверки П-201 (рис. 172, а). К зажимам 1 и 2 подключают зажимы имитатора «Изм.» и «Всп.», к зажимам 3 и 4 — магазин МСР-63. В качестве образцового миллиамперметра выбирают Р386, в качестве внешнего прибора к зажимам $E_{\text{вн}}$ имитатора подключают высокоомный образцовый потенциометр ОП (например, Р37/1). Зажимы заземления подсоединяют к контуру производственной базы.

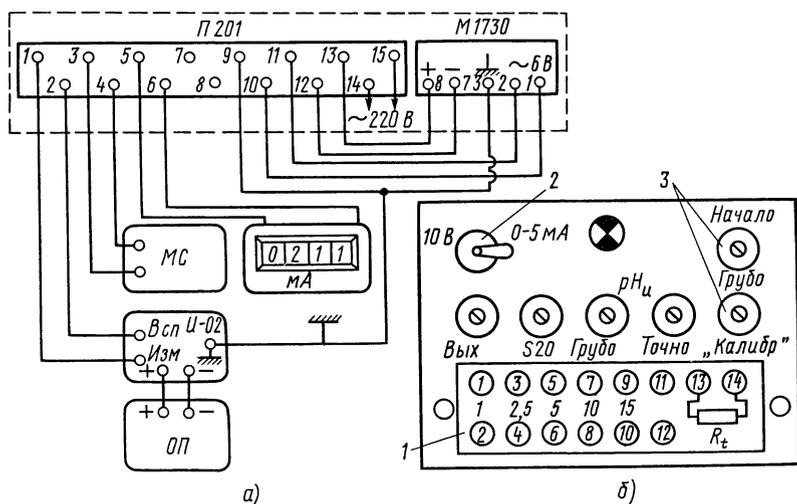


Рис. 172. Схема проверки (а) и передняя панель преобразователя П201 (б): 1 — панель перемычек, 2 — переключатель, 3 — переменные резисторы

На передней панели преобразователя (рис. 172, б) снимают крышку панели перемычек 1 и устанавливают перемычку между зажимами в соответствии с предусмотренным диапазоном измерения. Например, для диапазона $pH_{\max} = 5$ перемычку устанавливают между зажимами 5 и 6. Затем проверяют наличие перемычки между зажимами 11 и 12 и снимают перемычку с зажимов 13 и 14. На преобразователь подают питание и прогревают его в течение 1,5—2 ч. После прогрева переключатель 2 устанавливают в положение «0-5 мА», а на магазине набирают сопротивление 1400 Ом, соответствующее температуре 20 °С.

На имитаторе (см. рис. 120) устанавливают $R_{\text{и}} = 500$ МОм, $R_{\text{вн}} = 10$ кОм и $E_{\text{зр}} = 0$, после чего нажимают кнопку $E_{\text{вн}}$. Знак э.д.с. выбирают в соответствии с характеристикой электродной системы. Например, если проверяют преобразователь с диапазоном измерения 4—9 рН, то при проверке точек 4,5 и 5 рН на вход подают положительное, а при проверке точек 8 и 9 рН — отрицательное напряжение (см. табл. 25).

Потенциометром ОП (см. рис. 172, а) задают значения э.д.с. 174,2; 116,1; ...; -116,1 мВ, которые определяют по табл. 25 для температуры 20 °С и определяют основную погрешность преобразователя $\gamma_{пр} = [(I - I_p/5) \cdot 100 \%,$ где I_p — расчетное значение выходного тока, мА; I — измеренное значение тока, мА. Для рассматриваемого преобразователя расчетные значения для оцифрованных точек равны 0,1, ..., 5 мА.

Для проверки показывающего прибора, встроенного в преобразователь, для проверяемой точки определяют расчетное деление на шкале указателя М1730 и потенциометром ОП подбирают такое значение э.д.с., при котором указатель устанавливается на этом делении. Погрешность показывающего прибора $\gamma_n = [(E - E_p) / (E_k - E_n)] 100 \%,$ где E_p — расчетное значение э.д.с. проверяемой точки, мВ; E — фактическое значение, мВ; $E_k - E_n$ — абсолютное значение диапазона измерения, мВ, равное для рассматриваемого случая (-116,1 — 174,2) = 290,3 мВ (см. табл. 25). Вычисленные значения погрешностей не должны превышать 1 %.

Для проверки влияющих факторов задают значение измеряемой э.д.с., равное примерно половине диапазона измерения, и поочередно нажимают клавиши +10 кОм и -10 кОм имитатора. При этом отклонение выходного тока от установившегося значения не должно превышать 0,25 %. При изменении сопротивления измерительного электрода на ± 500 МОм погрешность должна увеличиваться не более чем на 1 %. С помощью имитатора на вход преобразователя подают напряжение, соответствующее потенциалу земля — раствор « $E_{зр}$ », и добиваются, чтобы при этом $I_{вых}$ изменилось не более чем на 1,5 %.

Если погрешность преобразователя превышает допустимую или требуется настроить его на работу в другом диапазоне измерения, ослабляют зажимы осей резисторов 3 (см. рис. 172, б) и производят настройку. Для этого на потенциометре ОП устанавливают э.д.с., соответствующую нижнему пределу измерения (174,2 мВ). Если выходной ток не равен 0, его устанавливают вращением резистора «Начало грубо» и точно подстраивают резистором «Калибровка». Затем на вход подают э.д.с., соответствующую верхнему пределу измерения (-116,1 мВ), и с помощью резистора S_{20} устанавливают ток выхода точно 5 мА. Образцовым прибором измеряют напряжение на зажимах 7 и 8 (должно быть 100 мВ), при необходимости это значение устанавливают резистором «Выход». После этого повторно проверяют настройку начала шкалы и при необходимости начальное значение корректируют резисторами «Калибровка» и S_{20} .

Для проверки работы схемы термокомпенсации на вход преобразователя подают э.д.с. -139,9 мВ, соответствующую верхнему значению измеряемого рН при температуре 80 °С. На магазине МС устанавливают $R_t = 1728,8$ Ом и измеряют ток выхода, который должен остаться равным 5 мА. Если ток изменился, его корректируют резисторами «рН_н-грубо» и «рН_н-точно». После настройки затягивают зажимы осей настроенных резисторов. При проверке монтажа системы проверяют наличие обводных трубопроводов, позволяющих без нарушения режима снимать ДМ-5М для ремонта и проверки. Преобразователи П-201 И, предназначенные для работы с датчиками взрывозащищенного исполнения, устанавливают только вне взрывоопасных помещений.

В местах установки П-201И не должно быть вибраций, а в атмосфере

помещений — агрессивных газов. Датчик и преобразователь связаны коаксиальными кабелями, прокладываемыми в защитных трубах.

Все элементы системы надежно заземляют медными проводниками сечением 4—7 мм². Электрическую схему преобразователя (зажим 9, см. рис. 172, а) заземляют в непосредственной близости от места установки датчика. Для этого заземляющий проводник прокладывают в защитной трубе вместе с коаксиальным кабелем и заземляют общим с корпусом датчика заземлителем. Прокладывать силовые и измерительную цепи в одной трубе не допускается.

После проверки монтажа системы подготавливают стеклянные электроды к установке в датчик. Их в течение 24 ч вымачивают в растворе HCl.

При установке кабель стеклянного электрода пропускают в коробку зажимов, наконечник центральной жилы подсоединяют к белому зажиму, а наконечник электрода — к зажиму «Земля». Электрод пропускают в трубу датчика сверху вниз и на его корпусе устанавливают резиновое кольцо. Затем устанавливают сначала нижний, а затем верхний сальники и затягивают гайку от руки.

Вспомогательный электрод перед установкой промывают горячей, а затем холодной водой, предварительно разобрав электролитический ключ. После промывки ввертывают хлорсеребряный элемент на место и плотно затягивают гайку. Через шланг заливают в бачок насыщенный раствор KCl. Операцию заполнения повторяют, чтобы удалить пузырьки воздуха из раствора. Пропускная способность перегородки ключа должна быть в пределах 20—30 капель в час. При необходимости пропускную способность перегородки изменяют изменением числа ее прокладок. Хлорсеребряный элемент подсоединяют к черному зажиму коробки датчика.

Для проверки элементов системы на преобразователь подают питание. Отсоединяют штепсельный разъем на соединительной коробке датчика и подключают к нему предварительно заземленный имитатор И-02. Задавая значения э.д.с., соответствующие началу и концу диапазона измерения, проверяют работу преобразователя по встроенному прибору, после чего кабель снова подключают к коробке датчика. Если есть возможность, заливают полость датчика раствором с известным значением рН (буферный раствор) и проверяют показания прибора преобразователя. Если выявлены значительные погрешности показаний, то в первую очередь проверяют сопротивление изоляции кабеля, которое должно быть не менее 10¹² Ом, после чего производят повторную поэлементную проверку системы.

После включения системы в работу показания прибора сравниваются с данными лабораторных анализов. При нарушении работы системы определяют его причину: наличие пузырьков воздуха в бачке и шланге электролитического ключа; содержание в контролируемых растворах фтора, который осаждается или кристаллизуется на стеклянных электродах; электрические помехи, отсутствие надежного заземления корпусов приборов и экрана кабеля, наличие вблизи преобразователя электрических аппаратов переменного тока.

§ 67. Системы сигнализации и защиты

Подготовку к производству пусконаладочных работ по системам сигнализации и защиты начинают с изучения проектной документации. При этом особое внимание уделяют специальным требованиям, выполнение которых обеспечивает безаварийную работу машин и аппаратов, безопасность людей и защиту окружающей среды. Так, требованиями Госгортехнадзора оговорены перечень и значения физических величин, которые должны быть включены в системы сигнализации и защиты при эксплуатации (например, котельных, компрессорных станций, сосудов и аппаратов, работающих под давлением). Определенные требования предъявляет служба газового надзора к системам для агрегатов, сжигающих газ, газораспределительных станций и т. п. Наладчики заносят в рабочие тетради перечни сигнализируемых и включаемых в блокировку или защиту физических величин и установленные проектом их предаварийные (сигнализируемые) и аварийные значения; номера кабелей и проводок для передачи команд на пуск или останов двигателей машин или агрегатов в электроустановки, наладку которых проводит электротехнический персонал. Затем проверяют наличие всех аппаратов согласно проектной схеме системы. Электрические проводники должны соответствовать проекту, техническим условиям и инструкции на применяемые аппараты. Все провода, подключаемые к колодкам зажимов приборов и устройств, а также к сборкам зажимов, должны иметь бирку с номером проводника по принципиальной элементной схеме системы.

У электромагнитных реле проверяют легкость перемещения якоря (нажатием пальца) и отсутствие перекосов. Якорь к сердечнику должен прилегать плотно, без зазора. Для проверки между якорем и сердечником помещают лист копировальной бумаги и прижимают якорь — не менее 70—80 % площади касания якоря и сердечника должна быть зачернена. Немагнитная прокладка должна плотно прилегать к якорю. Катушки реле не должны иметь видимых повреждений, а контакты реле — следов коррозии. При обесточенном положении реле раствор между разомкнутыми контактами (указан в паспорте на реле), как правило, должен быть не менее 2,5 мм. При нажатии на якорь реле замкнутые контакты должны разомкнуться не сразу, а после некоторого совместного хода, так же как и разомкнутые контакты после замыкания должны иметь совместный ход. Этот ход (провал) для большинства типов реле должен быть не менее 1,0 мм. При небольших объемах работ после осмотра подчищают и регулируют контакты выгибанием с помощью специального инструмента, поверхность якоря очищают от консервирующей смазки и рихтуют, регулируют натяжение возвратных пружин. При больших объемах работ это выполняет персонал заказчика.

Коммутирующие аппараты, расцепители, автоматические выключатели перед установкой, как правило, проверяют специальными нагрузочными устройствами регулируемые источниками тока, нагрузочными рео-

статами. У автоматических выключателей (например, АП-50) проверяют время-токовые характеристики срабатывания электромагнитного и теплового расцепителей. Так, при нагрузке выключателя $6I_n \pm 15\%$ срабатывание должно быть мгновенным. При проверке теплового расцепителя выключатель последовательно нагружают токами $5I_n$; $4I_n$; $3I_n$ — выключатель должен сработать соответственно через 20; 40 и 100 с. Чтобы убедиться в том, что сработал тепловой расцепитель, повторно включают выключатель. Если сработал тепловой расцепитель, то АП-50 включится только через 2—3 мин.

Проверив состояние приборов и аппаратов, подтягивают винтовые контакты. При наличии следов окисления на открытых токоведущих частях (зажимах, контактах и т. п.) их очищают. Проверке подлежат также соединения, выполненные пайкой.

Правильность электрических соединений приборов и аппаратов друг с другом проверяют непосредственным прослеживанием проводников или методом «прозвонки» с помощью пробников, измерительных приборов или телефонной связи. Прозвонка заключается в образовании электрической цепи, в которой один провод известен и соединяется с индикатором и источником тока через другой — неизвестный. Если неизвестный провод проложен правильно, то цепь замыкается и индикатор (лампа в УП-71) срабатывает. При прозвонке отключают проводники, по которым в обход проверяемого может образоваться цепь для срабатывания индикатора.

В электрических установках, на которые распространяются требования ПУЭ, после внешнего осмотра испытывают изоляцию цепей повышенным напряжением (1 кВ для электроустановок напряжением до 1000 В).

На вход испытываемой системы подключают специальную установку или повышающий трансформатор 220/1000 В мощностью не ниже $200 \text{ В} \cdot \text{А}$, питание на который подают через лабораторный автотрансформатор (ЛАТР). Вторичную обмотку трансформатора заземляют и в линию заземления включают микроамперметр. Параллельно трансформатору подключают вольтметр со шкалой 0—1500 В. Испытываемую систему готовят для проведения испытаний: снимают все заземления, отключают вторичные обмотки трансформаторов, если они имеются в системе, аппаратуру и приборы (полупроводниковые диоды, транзисторы, конденсаторы и т. п.) с испытательным напряжением до 1000 В, принимают меры, исключающие подачу напряжения в другие системы или установки.

Рукоятку ЛАТРа устанавливают в нулевое положение, замыкают коммутирующее устройство и плавно поднимают испытательное напряжение до 500 В. Если при этом не наблюдается разрядов или искрения, поднимают напряжение до 1000 В, выдерживают его в течение минуты, а затем плавно снижают. Изоляция выдержала испытание, если по микроамперметру не были зафиксированы токи утечки, а в системе — искрения, разряды или пробои. После испытаний к системе подключают мегаомметр и измеряют сопротивление изоляции; оно должно быть не ниже занесенного в протокол при заводских испытаниях или в процессе монтажа устройства.

Для проверки работы системы на ее вход подают питание. Временную проводку выполняют с соблюдением СНиП III-4—80. Перед включением автоматического выключателя Q (см. рис. 87, а — в) измеряют омметром

сопротивление постоянному току (должно быть не менее нескольких десятков ом). Если омметр измеряет сопротивление $R_{вх}=0$, то для поиска места короткого замыкания отключают часть схемы (например, после контакта 5 сигнализатора) и снова измеряют сопротивление входной цепи. Если $R_{вх} \neq 0$, омметр подключают после контакта 5 и ищут место короткого замыкания, деля пополам оставшуюся часть схемы. Если же $R_{вх}=0$, снова делят оставшуюся подключенной часть схемы пополам и находят место короткого замыкания.

После устранения короткого замыкания на входы схемы вместо контактов $S1, \dots, S5, \dots, S10$ подключают имитатор для проверки релейных схем (см. рис. 125). Общий для тумблеров $T1—T7$ провод подключают к точке Φ схемы (см. рис. 87), а провода $1—7$ — в точки $1—1; 5—1; \dots; 10—1$. Все тумблеры устанавливают в положение, соответствующее разомкнутому состоянию сигнализаторов. Включают автоматический выключатель Q и убеждаются в наличии напряжения по свечению лампы $HL1$. Начиная с первого, поочередно включают тумблеры, при этом при каждом включении загорается соответствующая лампа и звонит звонок. Звук сбрасывают кнопкой $SB1$ (см. рис. 87). После проверки всех точек сигнализации последовательно размыкают выключатели имитатора, при этом лампы должны погаснуть.

Рассмотрим характер неисправностей при проверке работы первой ячейки — лампы $HL1$. Если при замыкании первого тумблера звукового и светового сигналов нет, визуально проверяют, сработало ли реле $K11$. Если оно не сработало, выключают напряжение и омметром проверяют наличие цепи между точками $1—1$ и обмоткой реле (точка a на рисунке). Если цепь существует, проверяют катушку реле $K11$ и при необходимости заменяют реле. В случае если реле $K11$ сработало, звуковой сигнал появился, а лампа $HL1$ не загорелась, значит не отрегулирован контакт реле $K12:1$ или $K1:3$, обрыв обмотки реле $K1$, нет контакта в сигнальной арматуре, обрыв нити лампы.

При проверке схем рис. 87, б, в при необходимости проверяют исправность разделительных диодов $V1$ или $V2$ (для первой ячейки — лампы $HL1$) и работу источника мигающего света SR .

Недостаток рассмотренного метода проверки релейных схем — необходимость подачи в систему оперативного напряжения. При этом могут возгораться короткозамкнутые катушки, обгорать контактные группы при замыкании их на корпус устройства (на землю). Особенно нежелателен и трудоемок этот метод при проверке устройств, установленных на монтажной площадке в период проведения работ по совмещенному графику. В этом случае выполняют все организационные и технические мероприятия, не допускающие растекания тока по неиспытываемым цепям и поражения током монтажно-наладочного персонала (см. гл. XXIV).

Эффективен для проверки релейных устройств источник напряжения ИП-1 (см. рис. 124). Например, при проверке релейной системы управления пуском турбовоздуходувки (см. рис. 88) выключатели $T8—T11$ имитатора (см. рис. 125) подключают к зажимам $a1, в1; a2, в2; \dots; a5, в6$ вместо контактов $S2, SP1, S3$ и т. п. и размыкают их. ИП подключают на вход системы к зажимам Φ и 0, включают автоматические выключатели сначала ИП, а затем системы (Q) (см. рис. 88). Отключение напряжения

после включения выключателя \mathcal{Z} (см. рис. 124) свидетельствует о коротком замыкании в системе. Электрическую схему системы делят пополам и последовательно, как это было описано для проверки систем сигнализации, находят короткозамкнутый участок (элемент). Нажимают кнопку $SB5$ (см. рис. 88) и, не отпуская ее, нажимают кнопку 2 (см. рис. 124) источника (ключ SA установлен в положение A). В момент подачи импульса реле $K1$ притягивает якорь и остается под напряжением, удерживаемое постоянным током, проходящим под действием удерживающего напряжения 24 В источника. Срабатывание реле $K1$ определяют визуально. Замыкают первый контакт переключателя имитатора ($a1-v1$) и снова подают импульс. Соленоид $\mathcal{U}1$ оказывается под напряжением, лампа $HL3$ кратковременно вспыхивает, а затем горит чуть заметным накалом. Замыкая контакт имитатора $a2-v2$, снова подают импульс. После срабатывания реле времени $KT2$ замыкают контакт $a3-v3$, добиваются срабатывания реле $K2$, а затем, после замыкания $a4-v4$ и подачи импульса, — реле $K3$. Пуск турбогазодувки симитирован и после замыкания контактов $a5-v5$ и подачи очередного импульса должно работать реле времени $KT2$. Во время подачи каждого импульса лампы $HL2$ и $HL3$, а затем $HL4$ и AKO кратковременно светят. Передачу воздействий в системы управления проверяют омметром, подключаемым к точкам $1-2$; $3-4$ и $5-6$. При срабатывании реле $K1$, $KT2$ и $K3$ сопротивление между ними должно быть равно нулю.

Применение источника напряжения практически устраняет опасность поражения электрическим током, и в помещениях с повышенной опасностью его можно использовать без дополнительных организационных и технических мероприятий.

При проверке систем сигнализации с помощью ИП следует иметь в виду, что моторное реле времени и источники мигающего света должны питаться от постороннего источника.

Полярность подаваемого в устройство с разделительными диодами напряжения выбирают такой, чтобы диоды обеспечивали пропускание импульса в прямом направлении.

Перед включением в работу системы сигнализации испытывают. Задатчиками сигнализаторов устанавливают значения срабатывания, предусмотренные проектом. На входы сигнализаторов подключают имитаторы соответствующих физических величин и, плавно изменяя входной сигнал, фиксируют его значения, при которых загорелась соответствующая лампа (см. рис. 87) или срабатывало реле (см. рис. 88).

При испытаниях систем блокировки и защиты совместно с электротехническим персоналом проверяют также наличие командного сигнала на включение или отключение оборудования в оперативных цепях управления электроприводами. Так, при опробовании системы автоматического пуска турбогазодувки при срабатывании соответствующих реле должны замыкаться цепи пуска задвижек $\mathcal{Z}1$ и $\mathcal{Z}2$ (контакты $K1:2$ и $KT2:1$), а также цепь пуска газодувки (контакт $K3:1$).

Результаты всех испытаний оформляют протоколом.

При комплексном опробовании оборудования, а также в период до сдачи систем в эксплуатацию наладчики должны руководствоваться рядом правил:

отключают систему для устранения неисправностей, регулировки или проверки элементов только по зафиксированному в оперативном журнале разрешению руководителя цеха или технической установки;

изменяют проектные значения срабатывания систем (например, из-за изменения технологического режима) только на основании письменного распоряжения руководителя предприятия или его заместителя (главного инженера);

исключают из систем защиты и сигнализации отдельные параметры и вводят деблокировочные зависимости только на основании приказа по предприятию или ведомству.

§ 68. Электрические исполнительные механизмы

Наладку ИМ начинают с внешнего осмотра: устанавливают соответствие типа и комплекта проекту, наличие и правильный монтаж соединительных кабелей и заземляющих устройств, правильность маркировки жил и кабелей.

Для наладки ИМ непосредственно на месте установки эффективно применять проверочные схемы в виде переносных стенов.

Для наладки механизмов типа МЭО (см. рис. 85) такой стенд (рис. 173) состоит из корпуса 1, в котором размещены реверсивный магнитный пускатель и стандартный трансформатор 220/12 В. На лицевую панель выведены сигнальные табло (8 шт), миллиамперметр 7, рукоятка переменного резистора и кнопочный коммутатор 8. Включение напряжения производят автоматическим выключателем 4. Стенд соединен с источником однофазного переменного напряжения 220 В стандартным двухжильным кабелем, который прокладывают с соблюдением правил устройства временных проводок. Стенд подключают к проверяемому исполнительному механизму МЭО с помощью штатных кабелей: одного питающего — 3-жильного 5 и контрольного — 18-жильного 3, в качестве которого может быть использован жгут проводов.

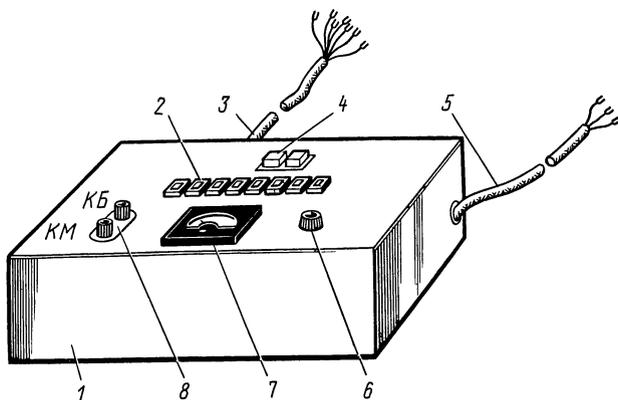


Рис 173. Стенд для проверки исполнительных механизмов:
1 — корпус, 2 — сигнальные табло, 3, 5 — кабели, 4 — выключатель, 7 — миллиамперметр, 8 — коммутатор

Питающий кабель подключают к зажимам 1 (см. рис. 85, б) и 2 колодки МЭО, контрольный — к зажимам 5—26. Ламповые табло оказываются включенными в цепи выключателей $SQ1—SQ4$, а одна из индуктивных катушек подключена к источнику напряжения ≈ 12 В и миллиамперметру. Штурвалом (рис. 85, а) устанавливают выходной вал в среднее положение, а механические упоры в крайние положения (90 и 240° в зависимости от режима работы МЭО в системе управления). На стенд подают питание и кратковременно нажимают кнопки (например, *КБ*, (см. рис. 173) определяют направление вращения вала. Выключатели $SQ1$ (см. рис. 85) и $SQ2$ объединяют в группу «Больше» и проверяют их срабатывание. Для этого два кулачка 7 устанавливают в положение, при котором ролик 10 должен попасть в вырез тогда, когда вал повернется на угол 90° (или 240°). Момент срабатывания выключателей 8 определяют по погасанию и зажиганию сигнальных ламп. Если ролик попадает в вырез, но при этом выключатель не срабатывает, значит недостаточно усилие на рычаг 9. Увеличивают усилие, вращая гайку 12 до срабатывания выключателя, затем гайку 12 поворачивают еще на $1/2$ оборота и фиксируют это положение контргайкой. Записывают номера зажимов, соответствующих конечным выключателям «Больше».

Нажимая кнопку *КМ* (см. рис. 173), поворачивают вал 5 (см. рис. 85) в обратную сторону и аналогично проверяют возможность установки выключателей $B3$ и $B4$ и при необходимости регулируют усилие пружин, добываясь срабатывания выключателей. Чтобы повернуть кулачки 7 на оси, отвертывают гайку 14, ослабляя пружину 13.

Для проверки работы индукционных преобразователей профильный кулачок 17 устанавливают в положение, соответствующее режиму работы МЭО (90 или 240°). При перемещении вала механизма из одного крайнего положения в другое указатель миллиамперметра должен плавно переместиться от нулевого до максимального значения. Если этого не происходит, проверяют точность установки профильного кулачка. Для этого выходной вал устанавливают точно в среднее положение и проверяют совпадение риски 90 или 240° с точкой касания ролика. Напряжение, измеренное на выходе катушки индуктивности, должно быть равно нулю. После проверки *ДИ1* к стенду подключают *ДИ2*. Профильный кулачок цапговым зажимом фиксируется в необходимом положении. Затем выходной вал устанавливают в начальное положение, стрелку 20 на нулевое значение.

Работу МЭО с реостатными преобразователями проверяют миллиамперметром стенда или омметром в пределах полного поворота вала механизма. Полный поворот вала (90 или 240°) соответствует изменению сопротивления реостата от 0 до 120 Ом.

Для проверки выбега вал из любого крайнего положения перемещают на 70—90 % хода. После опускания кнопки стрелка механизма должна переместиться на угол не более 1°. Люфт МЭО — поворот вала от руки — не должен превышать 1° по шкале механизма.

Описанная методика проверки ИМ пригодна для механизмов, работающих в стопорном режиме. Во всех остальных случаях вал ИМ устанавливают в крайнее положение вручную, затем, переместив вал от этого положения на 3—4°, добиваются срабатывания конечного выключателя и в этом положении его фиксируют. Контакт конечного выключателя вклю-

чают последовательно с катушкой соответствующего пускателя («Меньше» или «Больше»). Вручную переставляют вал в другое крайнее положение и, переместив его из этого положения на 3—4°, фиксируют положение второго конечного выключателя и проверяют омметром или с помощью сигнальных ламп момент срабатывания конечных выключателей.

После сочленения ИМ с регулирующим органом иногда проводят дополнительную регулировку. Уточняют действительный поворот выходного вала, обеспечивающий перемещение штока регулирующего органа из одного крайнего положения в другое. В соответствии с найденным углом поворота корректируют положение механических упоров, ограничивающих угол поворота кривошипа. Конечные выключатели устанавливают так, чтобы они срабатывали при подходе кривошипа к упору на угол 3°

Индукционные и реостатные преобразователи регулируют так, чтобы при полном повороте выходного вала стрелка указателя (миллиметров) 7 (рис. 173) положения ИМ перемещалась в пределах всей шкалы. Освободив стрелку 20 (см. рис. 85), устанавливают ее против нулевой отметки шкалы, а подвижный указатель — на конечную точку действительного хода. Вместо стенда подключают проводки 8—14 (см. рис. 103) и прозванивают правильность их подключения к БУ-21 и МКР-0-58 в соответствии со схемой. Переключатель режимов работы БУ-21 устанавливают в положение «Р» и, нажимая кнопку «Б» (см. рис. 82), убеждаются, что ИМ вращается в нужную сторону. Если вращение вала противоположное, меняют местами концы питающей линии на зажимах 1 (см. рис. 85) и 2 МЭО или С1 (см. рис. 84) и С2 на МКР-0-58.

§ 69. Пневматические исполнительные механизмы

Предмонтажную проверку пневматических исполнительных механизмов организуют лишь при одновременном выполнении монтажных и наладочных работ по единому графику. В остальных случаях их проверяют после монтажа, одновременно выполняя операции второго этапа наладочных работ. Если при этом обнаруживают непригодные к использованию устройства, на их демонтаж и замену затрачивают много труда, времени, что увеличивает сроки строительства объекта в целом.

Для проверки пневматического ИМ через редуктор или задатчики пневмотестера в штуцер 1 (рис. 97) подают сжатый воздух под давлением, которое контролируют по образцовому манометру. На вход механизма несколько раз подают воздух давлением 0,02 и 0,1 МПа и измеряют при этом отклонение действительного максимального и условного хода штока. Поскольку шкала 6 клапана имеет невысокую точность отсчета, определить отклонение можно по разности между диапазоном изменения входного сигнала (0,02—0,1 МПа) и действительным его значением. Для этого, изменяя давление в головке 2, устанавливают указатель 7 против нулевой отметки шкалы и фиксируют давление p_0 по образцовому манометру, затем устанавливают указатель на отметку 100 % и также фиксируют давление воздуха p_{100} в головке 2. Отклонение $x = [(p_{100} - p_0) - 0,02] / 0,08 \cdot 100$ % должно быть не более 4 %.

Если x более допустимого, регулируют натяжение рабочих витков пружины 3. Если $(p_{100} - p_0) > 0,08$, отворачивают гайку 4', если $(p_{100} - p_0) < 0,08$, заворачивают гайку 4.

При возможности точного измерения хода штока основная погрешность ИМ $\gamma = \frac{S_p - S_d}{S_y} \cdot 100\%$ или $\gamma = \frac{p_{кр} - p_{кд}}{0,08} \cdot 100\%$, где S_p , S_d и

S_y — соответственно расчетное, действительное и условное перемещения ИМ, мм; $p_{кр}$ — расчетное, а $p_{кд}$ — действительные значения командного давления, МПа.

Для проверки основной погрешности ИМ на вход клапана подают давление, устанавливают указатель на проверяемую точку и производят отсчет $p_{кд}$ по образцовому манометру. Расчетное значение давления команды на проверяемой точке определяют как $p_{кр} = 0,08 \cdot (S_p/S_y) + 0,02$, например, для точки 25 % $p_{кр} = 0,08 \cdot 0,25 + 0,02 = 0,04$ МПа.

Значение основной погрешности также определяют на значениях хода штока, соответствующих 40; 75 и 100 % условного хода. После проверки погрешности в прямом направлении давление последовательно снижают и для каждой точки повторно определяют значение основной погрешности и вариации. Значения основной погрешности и вариации не должны превышать пределов допускаемой основной погрешности, равных 1,5; 2,5 и 4 % соответственно для клапанов классов точности 1,5; 2,5 и 4,0.

Если погрешность и вариация выше допускаемых пределов, проверяют и по возможности ослабляют затяжку сальников, а также проверяют отсутствие механических повреждений (заусениц, царапин) или искривлений штока.

Порог чувствительности ИМ проверяют при значениях командного сигнала 0,036; 0,06 и 0,084 МПа. Для проверки чувствительности плавно увеличивают (или уменьшают) p_k до момента трогания штока и производят отсчет по манометру. Разность между расчетным значением командного сигнала и p_k в момент трогания штока, отнесенная к диапазону изменения командного сигнала, должна быть не более 0,4; 0,6 и 1,0 % соответственно для механизмов классов точности 1,5; 2,5 и 4,0. Для определения основной погрешности образцовые манометры должны быть класса точности 0,16. Для проверки ИМ класса точности 4,0 допускается использовать манометры класса точности 0,4.

После проверки ИМ настраивают длину штока регулирующего органа. Для этого на вход клапана подают сжатый воздух: давлением 0,1 МПа для клапанов типа ВЗ (воздух закрывает) или 0,02 МПа для клапанов типа ВО (воздух открывает). При этих давлениях затвор должен плотно войти в седло, что определяют по характерному толчку, ощущаемому рукой, приложенной к корпусу клапана. Регулируют момент закрытия вращением муфты 8, сочленяющей штоки клапана и регулирующего органа.

Поставляемые с позиционерами регулирующие клапаны проверяют в комплекте. Так же, как и у обычных МИМ, у них проверяют порог чувствительности, основную погрешность и вариацию. Последовательность операций при проверке та же, за исключением того, что давление команды p_k подают на вход позиционера 14. Если основная погрешность и вариация превышает допускаемые пределы, регулируют позиционер. Равномерное увеличение основной погрешности с увеличением p_k (например, перемещение им более расчетного значения) свидетельствует о недостаточном значении коэффициента отрицательной обратной связи

Увеличивают коэффициент усиления, перенося точку опоры рычагов 12 ближе к корпусу позиционера. Таким переносом коэффициент усиления можно изменять дискретно. Плавную регулировку коэффициента усиления производят изменением числа рабочих витков пружины позиционера.

Если основная погрешность в пределах всего диапазона имеет одно и то же значение, превышающее допускаемые пределы, то скомпенсировать ее можно перемещением шкалы b (в пределах 5—8 %) в пазах ее крепления к корпусу клапана.

С помощью позиционера при необходимости можно регулировать полный ход клапана при изменении командного сигнала в пределах половины диапазона.

§ 70. Регулирующие органы

При наладке приборов и систем автоматизации на состояние регулирующих органов и их технические характеристики обращают особое внимание, поскольку от их работоспособности зависит работоспособность настраиваемых систем. Регулирующие органы обладают эксплуатационными свойствами, которые определяются их конструктивными характеристиками (ГОСТ 14691—69).

Пропускная способность регулирующего органа определяется объемным расходом среды с плотностью $\rho = 1$ при единичном перепаде на регулирующем органе. *Начальная пропускная способность* численно равна пропускной способности в момент открытия затвора.

Условная пропускная способность K_{vy} численно равна пропускной способности органа при условном ходе затвора.

Зависимость пропускной способности от хода затвора называется *пропускной характеристикой*, которая у регулирующих клапанов может быть линейной или логарифмической (равнопроцентной).

Основная приведенная погрешность регулирующего органа $\gamma =$

$$= \frac{S_d - S_n}{S_y} \cdot 100 \%, \text{ где } S_d \text{ — действительный ход клапана, мм; } S_n \text{ — при-}$$

веденный (расчетный) ход клапана, мм; S_y — номинальное значение пол-

ного хода, мм. Вариация $B = \frac{S_{дп} - S_{до}}{S_y}$, где $S_{дп}$ — действительный ход при

подъеме затвора, мм; $S_{до}$ — ход при опускании затвора, мм.

Технические характеристики конкретных типов регулирующих органов приводятся в справочниках по трубопроводной арматуре. Фрагмент характеристик клапанов типа 25с2нж:

D_y , мм	15	20	25	40	80
K_{vy}	4	6,3	10	25	100
K_{y60}	2,5	4	6,3	16	63
Масса, кг	24,5	25,0	25,8	42,8	81,1

Перед монтажом регулирующие органы подвергают ревизии, которую выполняют монтажники основного технологического оборудования или персонал службы КИП заказчика под непосредственным наблюдением

наладочного персонала. При этом вскрывают корпус клапана, проверяют состояние поверхностей седел и затворов и проверяют и подтягивают сальниковые уплотнительные устройства, а также проверяют набивку смазочного насоса консистентной смазкой.

Регулирующие клапаны, применяемые для регулирования расходов взрывоопасных, токсичных и пожароопасных веществ и смесей, проверяют на герметичность затвора. Установка для проверки начальной пропускной способности клапанов представляет собой мерный куб (например, с ребром 1 м), имеющий патрубок с набором переходных катушек для установки клапанов различных типоразмеров. Клапан устанавливают на патрубок и на его вход подают воду давлением 0,1 МПа от ручного насоса или от напорного бачка. Закрывают клапан и включают секундомер. Через определенное время секундомер выключают и определяют количество поступившей в куб воды (измеряя приращение уровня). По таблицам, имеющимся в справочниках на каждый тип регулирующей арматуры, определяют числовое значение негерметичности клапана в процентах от условной пропускной способности клапана.

Например, если требуется определить негерметичность затвора клапана 25с2нж с $D_v = 40$ мм, то, установив клапан на патрубок, измеряют линейкой уровень в кубе и, подключив воду давлением 0,1 МПа, включают секундомер. Через время t выключают секундомер и линейкой определяют приращение уровня. Расход воды $Q_0 = (l \cdot 60)/t$, где l — приращение уровня, м; t — время эксперимента, мин. Например, если за 10 мин уровень воды в мерном кубе изменился на 9 см, то $Q_0 = 0,09 \cdot 60/10 = 0,54$ м³/ч. Затем по инструкции или техническим условиям находят значение предела допускаемой негерметичности γ (в процентах) и проверяют соотношение $\gamma_n \leq Q_0/\kappa_{vy}$. Если для рассматриваемого клапана $\gamma_n = 2$ %, то условие будет иметь вид $\gamma = 0,54/25 > 2$ %. В этом случае необходимо произвести притирку поверхностей седел и затворов (выполняют слесари заказчика).

Поскольку до пуска технологического оборудования проверить рабочую пропускную характеристику не представляется возможным, а влияние пропускной характеристики на качество работы АСР и систем дистанционного управления велико, рекомендуется в процессе выполнения предмонтажной проверки проводить выборочный проверочный расчет пропускных характеристик регулирующих органов. Расчетом проверяют выполнение следующего условия: установленный проектом режим работы должен быть обеспечен при пропускной способности регулирующего органа (открытии клапана), равной 65—75 % номинальной, а рабочий участок пропускной характеристики должен находиться в диапазоне 25—80 % номинальной.

При проверочном расчете известна условная пропускная способность регулирующего клапана κ_{vy} (см. с. 271) и требуется определить, при каком положении клапана будет обеспечено требуемое проектом нормальное числовое значение управляемого потока. Как правило, проектом задаются давления в начале и конце расчетного участка трубопроводной сети, на которой устанавливается клапан. Если потери давления на прямых участках и местных сопротивлениях трубопроводов малы по сравнению с перепадом давления на клапане, то для получения линейной зависимости изменения расхода от перемещения затвора проектом должен быть предусмотрен клапан с линейной характеристикой. В тех случаях, когда потери

в трубопроводе велики, регулирующий клапан будет существенно изменять расход среды лишь при незначительном перемещении затвора в области закрытия и практически не влияет на изменение расхода при перемещении затвора к положению полного открытия. В этом случае проектом должен быть предусмотрен клапан с логарифмической (равнопроцентной) характеристикой. В общем случае правильность выбора того или иного типа затвора определяют коэффициентом $n = \kappa_{VY} / \kappa_{VT}$, где κ_{VY} — условная пропускная способность клапана (определяется по справочникам); κ_{VT} — пропускная способность трубопровода. При $n \leq 1,5$ проектом должен быть выбран клапан с линейной, а в противном случае — с логарифмической характеристикой.

При измерении расхода жидкостей $\kappa_{VT} = Q_{\max} \sqrt{(\Delta p_{T \max} \cdot 10)}$, где Q_{\max} — максимальный расход жидкости по проекту, м³/ч; ρ — плотность жидкости, г/см³; $\Delta p_{T \max}$ — максимальный расчетный перепад жидкости на участке трубопровода, МПа.

Для определения правильности выбора D_y затвора или максимальном расходе среды, предусмотренном проектом, определяют пропускную способность клапана $\kappa_{V \max} = Q_{\max} \sqrt{\rho / (\Delta p_k \cdot 10)}$, где Δp_k — перепад на клапане по проекту, МПа. Пропускная способность клапана не будет заниженной, если $\kappa_{V \max} \leq 0,8 \kappa_{Vy}$.

Для оценки степени открытия затвора l при номинальном относительном расходе Q используют графики для линейных (рис. 174, а) и логарифмических (рис. 174, б) затворов клапанов. Из графика видно, что, например, при $n=6$ (сопротивление трубопровода в 6 раз больше, чем сопротивление клапана) относительный расход, равный 80 % условного, будет достигнут при перемещении клапана всего на четверть полного хода при линейной характеристике затвора и более чем на 50 % при логарифмической. Проверочные расчеты усложняются, если вязкость жидкости существенно отличается от вязкости воды.

Изложенную методику проверки правильности выбора характеристики затвора и проходного сечения клапана рассмотрим на конкретном примере.

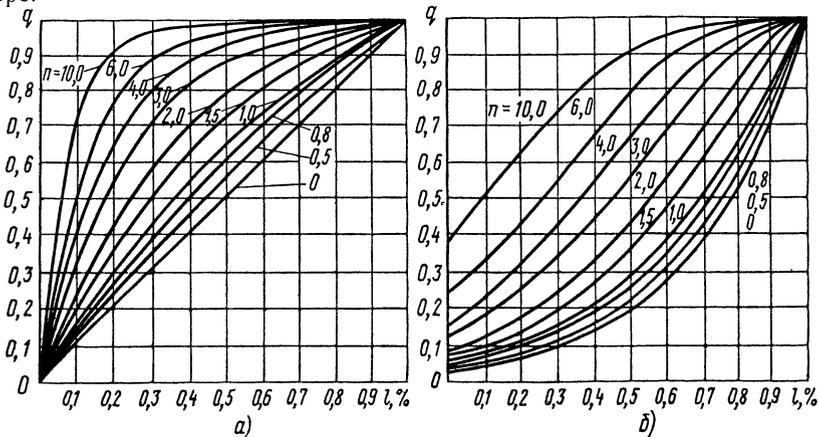


Рис. 174. Относительная пропускная способность клапанов с линейной (а) и логарифмической (б) характеристиками

Пример. Требуется определить правильность выбора регулирующего клапана 25с2нж с $D_y = 40$ мм и линейной пропускной характеристикой для регулирования расхода спирта $q = 0,7$ г/см³. Максимальный расход спирта 20 м³/ч. Давление p_0 спирта после насосов 0,45 МПа, p_k — в резервуаре, который заполняется, — 0,26 МПа. При номинальном расходе потери давления на прямых участках трубопровода составляют $p_n = 0,011$ МПа, на местных сопротивлениях $p_m = 0,022$ МПа.

Определим перепад на клапане $\Delta p = p_0 - p_k - p_n - p_m = 0,45 - 0,26 - 0,11 - 0,022 = 0,157$ МПа.

Максимальная пропускная способность трубопровода

$$\kappa_{V_T} = Q_{\max} \sqrt{q / (10 \cdot \Delta p_{\max})} = 20 \cdot \sqrt{0,7 / 0,33} = 29.$$

Из зависимости (с. 271) находим для клапана с $D_y = 40$ мм значение $\kappa_{V_y} = 25$

и определяем $n = \frac{\kappa_{V_y}}{\kappa_{V_T}} = \frac{25}{29} = 0,9 < 1,5$. Следовательно, затвор выбран правильно.

Для проверки выполнения условий запаса по управляющему воздействию и степени открытия затвора при максимальном расходе определим

$$\kappa_{V_{\max}} = Q_{\max} \sqrt{q / (\Delta p \cdot 10)} = 20 \sqrt{0,7 / 1,57} = 13,35.$$

Таким образом, пропускная способность клапана не занижена, так как $\kappa_{V_{\max}} < \kappa_{V_y} \cdot 0,8$.

Для оценки правильности выбора пропускной способности клапана найдем относительный расход среды q_{\max} при максимальном расходе:

$$q_{\max} = \kappa_{V_{\max}} / \kappa_{V_y} = 13,35 = 25 = 0,53.$$

По графику (рис. 174, а) соответствующий этому расходу ход клапана для $n = 0,9$ будет 0,4 от номинального, т. е. проектом предусмотрен клапан с завышенной пропускной способностью. Необходимо выбрать клапан меньшего сечения, например типа 25с10нж с $D_y = 25$ мм и $\kappa_{V_y} = 16$, и повторить расчет.

Глава XXIV

НАЛАДКА АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ

§ 71. АСР с регуляторами Р25

Наладку АСР рассмотрим на примере АСР температуры с регулятором Р25.2.2, принципиальная схема которой изображена на рис. 103.

АСР предназначена для регулирования температуры теплоносителя на входе теплосети, которая измеряется терморезистором ТС1. При отклонении температуры от установленного значения 100 °С регулятор, воздействуя на МЭО, подмешивает к основному потоку большее или меньшее количество пара высокой температуры. При отклонении температуры наружного воздуха от нулевой (ТС2) температура теплоносителя изменяется, изменение составляет 0,5 °С на каждый градус отклонения температуры воздуха.

При рассмотрении проектной документации устанавливают соответствие запроектированного регулятора задачам, предусмотренным проектом. В системе должна быть предусмотрена возможность ручного управления ИМ; датчики, исполнительные устройства и устройства оперативно-го управления, должны быть совместимыми. В проекте должны быть ука-

заны номинальное и предельно допустимое значения регулируемой температуры, требуемая точность стабилизации ее на заданном уровне. Для рассматриваемой АСР номинальными установлены: температура теплоносителя на входе сети 100 °С и температура наружного воздуха — 0 °С. Предельно допустимые отклонения температуры теплоносителя (ТС1) ± 20 °С, а наружного воздуха (ТС2) — от + 5 до — 35 °С. Точность стабилизации температуры не ниже 3 °С.

Предмонтажная проверка. Для проведения предмонтажной проверки регулятора собирают схему (рис. 175 и см. рис. 76). Вольтметр постоянного тока U_1 , подключенный к зажиму 8 регулятора 1, выбирают с пределом измерений 0—30 или 0—50 В. Вольтметр U_2 многопредельный, цифровой с диапазонами измерений 0—1,5; 0—15 В (например, Р386), магазин сопротивлений МСР63. Сопротивление резисторов R_1 и R_2 115 Ом, мощность не менее 10 Вт.

Внешним осмотром устанавливают отсутствие повреждений и следов коррозии на корпусе регулятора и токоведущих частях, проверяют комплектность документации: инструкции, паспорта, а затем подают питание и прогревают регулятор в течение часа. При подключении питания следят, чтобы фазный провод был подключен к зажиму 1.

Ручки k_1 , k_2 , k_3 переменных резисторов, «Зона», «Импульс», «Демпфер» и $k_{пбз}$ устанавливают в крайние левые положения, а ручку корректора — в среднее. Нажимают кнопку переключения режимов работы и отжимают кнопку T_{II} . Переключатель станции управления 10 устанавливают в положение А.

Проверку начинают с опробования задатчика. Ручку 13 задатчика вращают в пределах шкалы до тех пор, пока оба световых индикатора 6 не погаснут. В этом положении регулятор оказывается сбалансированным. Поворачивают ручку 13 на 0,5 % по шкале вправо. При этом загорается индикатор (верхний светодиод). По вольтметру U_1 проверяют наличие напряжения на выходе 8—9, которое должно быть в пределах 21—27 В. При повороте ручки 13 влево на 0,5 % от положения баланса должен загореться светодиод «М» и появиться напряжение 21—27 В на выходе 7—8. После этого задатчик возвращают в положение баланса и проверяют вольтметром U_1 напряжение между зажимами 7—8 и 8—9, оно не должно превышать 0,5 В.

Аналогично проверяют исправность корректора, при перемещении которого вправо и влево от нулевого значения баланс регулятора должен нарушаться.

Для проверки действия резистора «Зона» ручку 5 поворачивают вправо до упора (отметка 5 %)

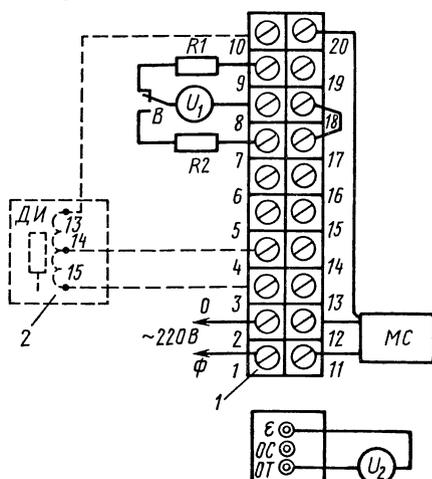


Рис. 175. Схема проверки блока Р25: 1 — колодка блока, 2 — датчик индуктивный

и, поворачивая ручку 13 задатчика, отмечают момент загорания светодиодов. Резистор «Зона» считается исправным, если при максимальной зоне нечувствительности баланс регулятора нарушается при повороте ручки задатчика от положения равновесия на 2,5 %.

Для проверки резистора с ручкой К2 (чувствительность) на МС устанавливают 75 Ом, что соответствует температуре 100 °С. Вольтметр U_2 включают на предел измерения 15 В. Ручку к2 поворачивают вправо до упора. Увеличивают сопротивление МС до 100 Ом, при этом напряжение, измеренное вольтметром U_2 , увеличивается до 10 В. При плавном повороте ручки к2 влево до упора напряжение должно плавно уменьшаться до нуля. После этого снова устанавливают максимальную чувствительность, сопротивление магазина 75 Ом и, балансируя регулятор, увеличивают сопротивление МС до момента загорания светодиода М, затем, уменьшая сопротивление МС, добиваются загорания светодиода Б. Измерительный блок считается исправным, если нарушение баланса регулятора происходит при изменении сопротивления МС от заданного значения (75 Ом) не более чем на 0,4 Ом.

Для проверки резистора К3 (чувствительность 3) МС подключают к зажимам 13, 14 и 20, устанавливают сопротивление МС 53,6 Ом, что соответствует температуре 0 °С, и проводят аналогичные операции.

После проверки исправности органов управления снимают их характеристики. Удобно для данного регулятора приводить эти характеристики к напряжению рассогласования (выходному напряжению субблока Р-012), измеренному вольтметром U_2 между гнездами ϵ и ОТ. Характеристики могут быть представлены в виде таблиц или графиков (рис. 176, а). На оси абсцисс откладывают значение U_ϵ , а на оси ординат — положение органа настройки, как правило, в делениях их шкал. Аналогичные графики составляют и для каждого входа измерительного блока, откладывая на оси координат значение измеряемой величины. Для

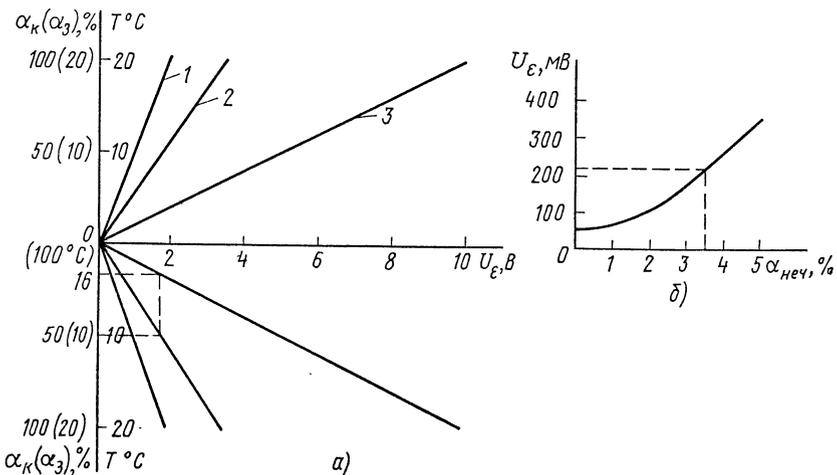


Рис. 176. Зависимость напряжения рассогласования от сигналов датчика, задатчика и корректора (а) и положения резистора «Зона» (б):

1 — задатчик, 2 — датчик, 3 — корректор

ручки «Зона» на оси абсцисс (рис. 176, б) откладывают положения ручки (%), а на оси ординат — U_e — соответствующее данному положению ручки напряжение, при котором загорается светодиод. Графики (или таблицы) заносят в журнал предмонтажной проверки, в паспорт регулятора или в рабочую тетрадь.

Для проверки *органов динамической настройки* ручки $K2$ и $K3$ резисторов устанавливают в нулевое положение и балансируют регулятор. Отжимают кнопку переключателя рода работ, устанавливают T_{II} на значение — $5с$, а ручку « $K_{п63}$ » поворачивают на отметку 5 . Задатчик поворачивают на 2% в любую сторону от положения равновесия и включают секундомер. Один из светодиодов загорается на время $6 \pm 1 с$, затем гаснет и далее включается импульсами. При повороте резистора «Импульс» вправо длительность пауз и самих импульсов увеличивается. Время пауз между импульсами должно увеличиваться при увеличении T_{II} . Если при этом нажать кнопку $\times 10$, то время между импульсами должно увеличиться примерно в 10 раз.

Для проверки *станции управления* регулятор переводят в ручной режим работы. Для этого переключатель 10 устанавливают в положение «Р», а переключатель 11 — в положение «Б». При этом на зажимах $8-9$ должно появиться напряжение $22-29 В$. При переключении переключателя 11 в положение «М» это напряжение измеряют на зажимах $7-8$.

Для проверки *блока управления БУ21* используют пробник УП-71. Переключатель 1 (см. рис. 82, а, б) устанавливают в положение «Р», зажим пробника подключают к зажиму 7 , а щуп прижимают к зажиму 5 . При нажатии кнопки M лампа пробника должна загореться ровным светом. Так же проверяют замыкание цепей между зажимами 9 и 11 , 13 и 15 . Затем зажим пробника подключают к зажиму 1 , а щуп прижимают к зажиму 31 и нажимают кнопку B . Лампа пробника должна гореть. Щуп переносят на зажим 32 и нажимают кнопку M , при этом лампа пробника сигнализирует о наличии цепей между зажимами 1 и 32 .

Переключатель 1 переводят в положение «А» и проверяют наличие цепей между зажимами $2-4$ и $6-8$. В положении «В» должны быть замкнуты цепи между зажимами $21-23$ и $24-22$.

Проверка монтажа АСР (см. рис. 103). Обращают внимание на правильность подключения питающего напряжения. Фаза напряжения должна быть подана на зажим 1 регулятора, а нулевой провод — на зажим 2 . При использовании внутреннего задатчика между зажимами 17 и 18 должна стоять перемычка. При использовании для управления внутреннего источника напряжения нагрузку подключают к зажимам $7, 8$ и 9 . При использовании для управления напряжения $220 В$ фазу подключают к зажиму 10 , а нуль к зажиму 8 . В этом случае исполнительное устройство должно быть подключено к зажимам 7 и 9 .

Электрические проводки измерительных цепей должны быть подключены кабелями или жгутами отдельно от силовых проводов, подключаемых к зажимам $1, 2, 6-10$. Сопротивление изоляции между отдельными цепями и каждой цепью и землей должно быть не ниже $40 М\Omega$. Корпуса регулятора и других элементов АСР должны быть заземлены.

При проверке монтажа исполнительных механизмов и регулирующих органов особое внимание обращают на конструкцию их сочленения. В соч-

лений не должно быть свободного хода (люфта), а углы между рычагом исполнительного механизма и тягой, передающей перемещение клапану, в крайних положениях не должны достигать 180° или быть меньше 9° . Несоблюдение этого требования приводит к заклиниванию рычагов или появлению мертвого хода.

Настройка и фазировка элементов АСР. Настройку *исполнительного механизма МЭО* выполняют в соответствии с § 69.

Для настройки *индикатора положения ИМ* штурвалом устанавливают в среднее положение, а профильный кулачок 17 (см. рис. 85) — в положение, при котором ролик располагается точно под риской 90° . В этом положении стрелка индикатора 3 (см. рис. 76) должна установиться на отметке 50 %. Если этого не произошло, корректором миллиамперметра ее устанавливают на середину шкалы. Вручную перемещают вал до полного закрытия ИМ и убеждаются в том, что стрелка устанавливается на нулевую отметку шкалы, при открытии ИМ она должна быть на отметке 100 %. Если при открытии ИМ стрелка индикатора перемещается в противоположном направлении, меняют местами провода на зажимах 13—15 (см. рис. 175) ДИ или на зажимах 3 и 10 колодки блока. Если в крайних положениях показания индикатора не доходят до границ шкалы или переходят через них, то диапазон измерения индикатора изменяют ручкой 4 (см. рис. 76) резистора.

Для *фазировки системы* вместо термометра сопротивления к зажимам 11—12 (рис. 175) подключают МС и подают напряжения на регулятор и ИМ. К контрольным гнездам ϵ и OT подключают вольтметр с пределом измерения 15 В и регулятор переводят в трехпозиционный режим. Ручку $k2$ (см. рис. 76) резистора устанавливают на единицу, а на МС (рис. 175) набирают заданное значение температуры. Если регулятор не находится в равновесии, его балансируют корректором до тех пор, пока напряжение между зажимами ϵ и OT не исчезнет. Определяют требуемое направление перемещения регулирующего органа при отклонении регулируемой величины от заданного значения. Например, в рассматриваемой АСР при увеличении температуры необходимо закрыть клапан на линии подачи пара. На МС устанавливают сопротивление больше заданного значения, при этом регулятор должен сформировать сигнал, закрывающий клапан. Если перемещение регулирующего органа происходит в противоположном направлении, меняют местами провода на зажимах 7 (см. рис. 103) и 9 регулятора.

Статическая настройка АСР. Начинают с выбора зоны нечувствительности (положение резистора «Зона») (см. рис. 76). Как видно из графика (рис. 176), при нулевом значении сопротивления резистора зона нечувствительности лежит в пределах 50 мВ. Это значит, что небольшие изменения температуры, соответствующие долям градуса, будут воздействовать на состояние регулятора и вызывать срабатывание исполнительных устройств. При этом их износ (определяется количеством срабатываний) будет велик. Для уменьшения количества срабатываний в регулятор вводят зону нечувствительности, в которой изменения регулируемой величины не вызывают срабатывания регулятора. Поскольку увеличение зоны нечувствительности ухудшает характеристики АСР, ее выбирают равной половине допустимого отклонения регулируемой величины, которое в слу-

чае рассматриваемой системы по проекту составляет 3°C . Нечувствительность $\Delta = 0,5\sigma_{\text{доп}} \cdot \kappa_{\text{дтmax}}$, где $\sigma_{\text{доп}}$ — допустимое отклонение, $^{\circ}\text{C}$; $\kappa_{\text{дтmax}}$ — коэффициент усиления датчика при максимальной чувствительности ($\kappa_2 = 1$), мВ/ $^{\circ}\text{C}$. $\kappa_{\text{дтmax}}$ найдем на кривой 2 (рис. 176, а). Поскольку при изменении температуры на 20°C напряжение $U_{\varepsilon} = 3500$ мВ, $\kappa_{\text{дтmax}} = 3500:20 = 175$ мВ. Расчетное значение нечувствительности при этом $\Delta = 0,5 \cdot 3 \cdot 175 = 210$ мВ. Значение, которое должно быть установлено резистором «Зона», определяемое по графику (рис. 176, б), составляет 3,5 %.

Для расчета *диапазона действия задатчика* снова воспользуемся графиком рис. 176, а. Кривая 1 показывает, что полный диапазон задатчика (20 %) 2 В. Это напряжение соответствует изменению температуры на 11°C (кривая 2). Следовательно, при повороте ручки 13 (рис. 76) задатчика на 1 % от положения равновесия задание регулятору изменится на $0,55^{\circ}\text{C}$.

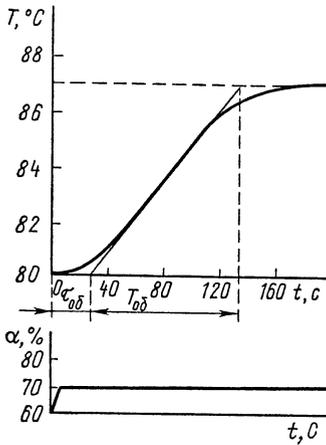
Для расчета *положения ручки КЗ резистора* (чувствительность) используют заданное проектом соотношение влияния температуры наружного воздуха на температуру теплоносителя. Для реализации этого соотношения $\kappa_{\text{ус}}$ канала температуры наружного воздуха должен быть в два раза ниже, чем основного канала, так как градуировочные характеристики обоих ТС одинаковы. Для этого ручку КЗ устанавливают в положение 0,5.

Если при эксплуатации возникает необходимость в изменении режима работы регулятора, например ставится условие, чтобы температура 100°C поддерживалась при температуре наружного воздуха — 10°C , то вместо ТС2 (рис. 103) к зажимам 13, 14 и 20 подключают МС Р63, на котором устанавливают сопротивление 50,7 Ом. Не изменяя положений ручек настройки, корректором балансируют регулятор ($U_{\varepsilon} = 0$) и вместо МСР63 снова подключают ТС2. Следует иметь в виду, что регуляторы Р25.2 выпускают настроенными на температуру 100°C (по каналу К2) и 0°C (по каналу К3). При необходимости существенно изменить заданные температуры заменяют сопротивления в измерительных схемах мостов ТС1 (см. рис. 74) и ТС2 на требуемые. Значения этих сопротивлений находят по соответствующим статическим характеристикам преобразования.

Динамическая настройка регулятора. Выполняют ее методами, основанными на экспериментальных данных, расчетом или организованным поиском. Рассмотрим настройку регулятора по переходной характеристике объекта (см. § 16).

Регулятор переводят в ручной режим работы и, перемещая исполнительный механизм, стабилизируют значение температуры. Значение температуры определяют по показаниям измерительных систем, которые, как правило, предусмотрены проектом. В случае, если измерение регулируемой величины проектом не предусмотрено, фиксируют значение напряжения U_{ε} . Поворотом переключателя Б (см. рис. 76) на БУ21 перемещают клапан по согласованию с руководством установки, например, на 10 % по индикатору положения регулятора и включают секундомер. Через равные интервалы времени фиксируют значение регулируемой величины до тех пор, пока температура не перестанет изменяться и стабилизируется на уровне, соответствующем новому положению клапана. Для повышения точности эксперимент повторяют несколько раз, полученные значения наносят

в виде точек на миллиметровку и проводят усредненную кривую. Такая кривая для регулятора температуры в большинстве случаев будет иметь вид графика (рис. 177). Проводя касательную к кривой, находят $\tau_{об}$ и $T_{об}$ и вычисляют по формулам $\kappa_{об}$.



Для рассматриваемой АСР найденные из графика численные значения $\tau_{об}$ и $T_{об}$ будут соответственно 26 и 106 с. Изменение температуры t составит 7 °С, или 17,5 % от диапазона измерения температуры (40 °С). При этом $\kappa_{об} = t : d = 17,5 : 10 = 1,75$.

Проведем расчет настроек по формулам, предусматривающим получение переходного процесса с минимальной площадью переходного процесса (см. § 16). Коэффициент усиления регулятора

$$\kappa_p = \frac{1 \cdot T_{об}}{\kappa_{об} \tau_{об}} = \frac{106}{26 \cdot 1,75} = 2,3,$$

Рис. 177. Усредненная временная характеристика АСР температуры

а время интегрирования $T_{и}$ выбирают равным $T_{об}$ ($T_{и} = T_{об} = 106$ с). Ручку 5 (см. рис. 76) резистора $\kappa_{п63}$ устанавливают на деление 2,5, а резистора $T_{и}$ — на отметку 10 и нажимают кнопку $\times 10$.

При расчете необходимо учитывать, что шкала $\kappa_{п63}$ отградуирована для работы регулятора с ИМ, время перемещения которого из одного крайнего положения в другое $t_{ИМ} = 63$ с. При использовании механизма с другим $t'_{ИМ}$ к шкале $\kappa_{п63}$ вычисляют поправку. В этом случае действительное значение отметок шкалы $\kappa'_{п63} = \kappa_{п63} \cdot t'_{ИМ} / 63$.

В ручном режиме переключателем 11 устанавливают значение температуры, примерно равное заданному, и переводят переключатель 10 в положение «А». АСР подготавливают к проведению испытаний и сдаче в соответствии с изложенным ранее материалом (см. § 47).

§ 72. АСР с блоками АКЭСР

Рассмотрим последовательность выполнения работ при наладке АСР, принципиальная схема которой изображена на рис. 104. При изучении проекта автоматизации устанавливают, что данная система предназначена для стабилизации расхода жидкости на заданном уровне. Состав аппаратуры не позволяет использовать ее во взрывоопасных помещениях любых категорий.

Из технологического регламента должны быть получены сведения о значении расхода в нормальном режиме и требованиях к точности его поддержания в установившемся режиме. Также должны быть уточнены требования к работе системы в переходных режимах (например, при увеличении расхода жидкости на стороне потребителя или при изменении давления на стороне насосов) и допустимая зона перемещения клапана.

Из пояснительной записки к проекту автоматизации получают сведения о типах приборов, преобразователей и блоков, взаимодействии между ними и данные о роде входных и выходных сигналов и диапазонах их изменения (например, постоянный ток, изменяющийся в диапазоне 0—5 мА).

Предмонтажную проверку элементов АСР начинают с внешнего осмотра и определения соответствия типов устройств спецификации проекта. В комплект отдельных блоков и приборов должны входить монтажно-эксплуатационные инструкции, паспорта, специальный инструмент и комплект запасных частей и материалов.

Для данной АСР наладка измерительных устройств и системы дистанционного управления была рассмотрена ранее (гл. XIX и XXIII). В настоящем разделе рассмотрим предмонтажную проверку только блоков АКЭСР и электропневмопреобразователя ЭПП. Для проверки используем тестер-испытатель ТИ-182, пневмостенд ЛТ-40, комбинированный прибор Р386 и образцовый манометр класса точности 0,15 с диапазоном измерения 0—0,1 МПа.

Проверку технических характеристик БКР-Ш начинают с установки перемычек на панелях 2 (см. рис. 78). Для разделения токового сигнала 0—5 мА перемычки на панели П1 устанавливают между контактами штырями 1—2 (см. рис. 78, б) и 4—5, перемычку на панелях П4 — между штырями 1—2, а на П5 — между штырями 4—5, 7—8 и 3—6 (панели П4 и П5 на рисунке не показаны и расположены на нижней плоскости блока). При таком положении перемычек блок будет осуществлять кондуктивное разделение сигнала с последующим его демпфированием.

Остальные перемычки могут находиться в любом положении, так как в рассматриваемой АСР канал суммирования не используется. На передней панели ТИ-182 (см. рис. 126) устанавливают коммутационную вставку 3, соответствующую типу проверяемого блока — БКР1-Ш. Блок подключают к ТИ-182 и прогревают.

При $U_{вх} = 0$ цифровой прибор подключают к гнездам (см. рис. 78) OT и $У_{11}$. Показания прибора должны быть также равны 0. Если показания прибора больше $\pm 0,005$ В, то, вращая переменный резистор $R8$ (см. рис. 77), устанавливают $U_{вых} = 0$.

На панели «Сигнал Х1» (см. рис. 126) нажимают кнопки I_5 и 100 %, а кнопкой Х1 подсоединяют прибор 2 для измерения тока. В этом положении прибор 2 должен показать 5 мА. Это значение можно проконтролировать более точно, подключив к зажиму I_1 образцовый прибор. При этом напряжение, измеренное между зажимами OT (см. рис. 78) и $У_{11}$, должно быть равно 10 В. Допустимое отклонение $U_{вых}$ от этого значения не должно превышать $\pm 0,025$ В. Если отклонение выше допустимого, резистором $R6$ (см. рис. 77) его уменьшают до допустимого значения. На панели последовательно нажимают кнопки 20; 40; 60 и 80 %, подавая сигнал Х1 (см. рис. 126) на вход БКР 1; 2; 3 и 4 мА. При этом $U_{вых}$ должно устанавливаться на значениях 2; 4; 6 и 8 В с отклонением не более 0,05 В.

Входным сигналом канала динамических преобразований является $U_{вх}$ канала кондуктивного разделения. Измерение $U_{вх}$ и $U_{вых}$ этого канала производят соответственно между OT и зажимами (см. рис. 78) $У_{11}$ и $У_{31}$. На вход проверяемого блока подают ток 2,5 мА, измеряемый прибором

рѳм 2 (см. рис. 126). Ручку $T_{дф}$ (см. рис. 78) устанавливают в положение 0, а C — в положение 1. При этом напряжения на зажимах $У_{11}$ и $У_{31}$ относительно OT должны быть равны 5 В каждое. Если $У_{31}$ отличается от $У_{11}$ более чем на 0,01 В, его устанавливают равным $У_{11}$ переменным резистором. Затем проверяют равенство $У_{11}$ и $У_{31}$ на точках 20; 60 и 80 % диапазона изменения входного сигнала.

Для проверки шкалы $T_{дф}$ на вход блока подают нулевой сигнал и убеждаются, что на выходе $У_{31}$ напряжение также равно нулю. На блоке устанавливают $T_{дф}$ на проверяемую отметку шкалы, нажимают клавишу (см. рис. 126), например 60 % переключателя «Сигнал XI» и включают секундомер. Когда $U_{вых}$ на $У_{31}$ возрастет до значения $0,63 U_{вх}$ на $У_{11}$, секундомер выключают. Отсчитанное по секундомеру время будет равно фактическому значению постоянной $T_{дф}$. Например, если $T_{дф}$ было устанавлено на точку 8с, на вход блока был подан сигнал 60 %, то включить секундомер необходимо в момент, когда $U_{вых}$ на $У_{31}$ станет равным 3,8 В. Если это нарастание произошло за 7 с, то это и есть фактическое значение постоянной времени демпфирования. Обычно достаточна проверка двух значений в пределах шкалы $T_{дф}$.

При необходимости $k_{ус}$ канала динамических преобразований может быть изменен от 0,5 до 24. Для проверки шкалы C (см. рис. 78) установки $k_{ус}$ ручку $T_{дф}$ ставят на 0, а ручку C — на отметку 1. Задают $U_{вх} = 2$ мВ и поворачивают ручку C в положение 0,5. Напряжение $U_{вых}$ на $У_{31}$ должно уменьшиться до 1 В. При повороте ручки C в положение 2 напряжение $U_{вых}$ на $У_{31}$ должно увеличиться до 4 В и т. д. В общем случае $k_{ус} = \frac{U_{31}}{U_{11}}$.

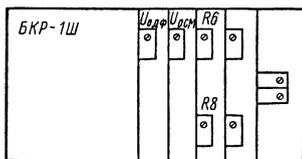
Расположение переменных резисторов для регулировки характеристик блока на выдвижных модулях показано на рис. 178, а.

Предмонтажная проверка блоков нелинейных преобразований БНП упрощается, если заранее известна характеристика преобразования, предусмотренная проектом. В рассматриваемой АСР блок БНП предназначен для получения линейной зависимости изменения выходного сигнала от расхода жидкости.

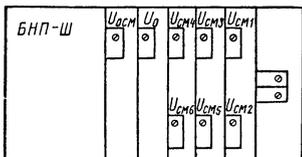
Поскольку сигнал на входе блока пропорционален квадрату расхода, для получения линейной зависимости необходимо, чтобы блок выполнил действие: $U_{вых1} = \sqrt{U_{вх1}}$, где $U_{вх1}$ и $U_{вых1}$ — соответственно входное и выходное напряжения канала нелинейного преобразования.

Для определения границ прямолинейных участков, заменяющих непрерывную функцию, используют расчетно-графический метод. Нижнюю границу заданной зависимости определяют, исходя из того, что при значениях расхода, меньших 30 % диапазона, измерение его с заданной точностью обеспечить невозможно. Для расхода, равного 30 % номинального, $U_{вх}$ будет равно 0,9 В, или 0,09 % от полного диапазона изменения сигнала 0—10 В. Действительно, $U_{вых1} = \sqrt{0,09} = 0,3$ диапазона изменения выходного сигнала, или 3 В. Для значения $U_{вх}$ 2; 3; ...; 10 В соответствующие $U_{вых}$ должны иметь значения $\sqrt{0,2} \cdot 10$ В, $\sqrt{0,3} \cdot 10$ В, ..., $\sqrt{1} \cdot 10$ В или 4,5 В, 5,5 В, ..., 10 В.

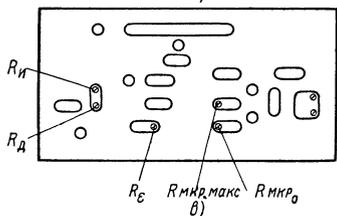
По расчетным данным на миллиметровке строят график заданной функции (кривая 1, рис. 179).



а)



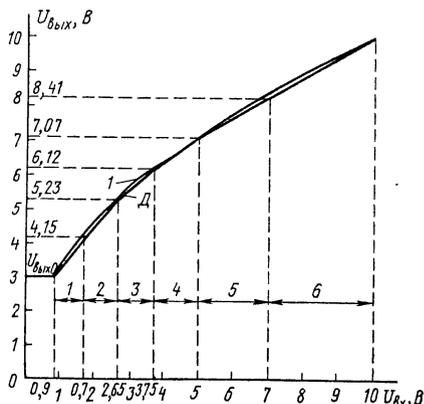
б)



в)

Рис. 178. Расположение подстроечных элементов на модулях БКР (а), БНП (б) и РБА (в)

Рис. 179. Действительная (1) и аппроксимированная (Д) функции



Кривую заменяют ломаной линией Д так, чтобы участкам с наибольшей кривизной соответствовали более короткие отрезки, а с малой — более длинные, и по графику определяют границы прямолинейных участков и соответствующие этим границам значения $U_{\text{вых}}$. Например, для участка 3 нижней границей будет $U_{\text{вх}} = 2,65$ В, а для участка 4 — 3,75 В. Значения $U_{\text{вых}}$ для этих границ будут соответственно — 5,23 и 6,12 В. Так как заменяемая функция является монотонно возрастающей, то в соответствии с инструкцией контактные переключки устанавливают таким образом, чтобы $U_{\text{вых}}$ всех нелинейных элементов блока суммировались ($C > 0$).

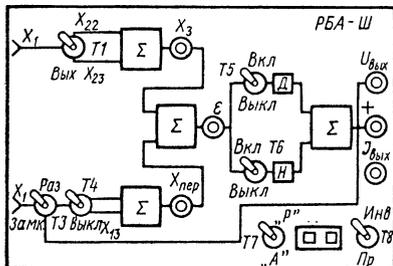
На тестере-испытателе заменяют вставку 3 (см. рис. 126) на соответствующую схему проверки БНП-Ш и блок подключают к штепсельному разъему. Ручки переменных резисторов (см. рис. 79) R1 — R6 устанавливают в нулевые положения при $U_{\text{см}0} = 0$. Цифровым прибором в соответствующих гнездах ТИ-182 измеряют значения $+U_{\text{оп}}$ и $-U_{\text{оп}}$, эти значения могут отличаться от 10 В не более чем на $\pm 0,01$ В. Для проверки $U_{\text{см}0}$ резистор U_0 поворачивают до упора, при этом U_{y1} , измеренное прибором 5 (см. рис. 126), должно плавно измениться от 0 до 10 В.

Настройку границ участков ломаной, заменяющей действительную функцию, начинают с настройки НЭ6 (см. рис. 79). На вход блока подают $U_{\text{вх}} = 7$ В, значение которого контролируют цифровым прибором в гнезде U_1 . Затем прибор подключают в гнездо на коммутационной вставке, соответствующее НЭ6 (см. рис. 126), и вращением переменного резистора $U_{\text{см}6}$ (см. рис. 178), расположенного на модуле блока, добиваются такого положения, при котором $\Delta U_6 = 0$. Затем, уменьшая $U_{\text{вх}}$ до 5 В, убеждаются, что $U_{\text{вых}6} = 0$. Вольтметр подключают к гнезду, соответствующему НЭ5, и резистором $U_{\text{см}5}$ добиваются $U_{\text{вых}5} = 0$. Далее, устанавливая $U_{\text{вх}} = 3,75; 2,65; 1,7$ и $0,9$ В, регулируют нулевые значения $U_{\text{вых}}$ НЭ4 — НЭ1.

Для настройки $U_{\text{вых0}}$ при значениях расхода, меньших 30 % номинального значения, цифровой вольтметр подключают на выход блока, устанавливают $U_{\text{вх}}=0$ и, изменяя $U_{\text{см0}}$, устанавливают $U_{\text{вых}}$ на значение 3 В. Затем $U_{\text{вх}}$ устанавливают равным 1,7 В (верхняя граница НЭ1) и резистором $R14$ устанавливают $U_{\text{вых}}$ на значение 4,15 В (см. рис. 179). При $U_{\text{вх}}=2,65$ В резистором $R 24$ устанавливают $U_{\text{вых}}=5,23$ В. Аналогично настраивают нелинейные элементы НЭ3 — НЭ5, добиваясь на выходе блока соответственно 6,12; 7,07 и 8,41 В. Затем подают $U_{\text{вх}}=10$ В и резистором $R 64$ устанавливают $U_{\text{вых}}=10$ В. После завершения настройки рекомендуется, используя график, проверить значения характеристики преобразования блока в промежуточных точках.

Если заданная функция изменяет свой знак (например, сначала увеличивается, а затем уменьшается), используя соответствующие панели переключателей, выбирают отрицательные знаки выходных напряжений для участков, где функция должна уменьшаться. С помощью переключателей можно установить для любого НЭ $U_{\text{вых}}=0$ и изменить знак $U_{\text{см0}}$.

Для проверки аналогового регулирующего блока типа РБА-Ш на панели ТИ-182 устанавливают коммутационную вставку (рис. 180) С помощью тумблеров $T1$ и $T4$ сигналы переменной и задания могут быть поданы на различные входы блока, что позволяет проверить исправность всех входных цепей. Гнезда «Хз» и «Хпер» позволяют контролировать и измерять сигналы задания и переменной после их суммирования, а гнездо «ε» — сигнал отклонения регулируемой величины от заданного значения. С помощью тумблеров $T5$ и $T6$ могут быть отключены каналы интегрирования I или предварения $ПД$ и изменен закон регулирования блока. Переключатель $T7$ обеспечивает изменение режима работы блока путем подачи на зажимы 36 (см. рис. 80) и 18 логического управляющего сигнала, а кнопки M и B служат для изменения выходного сигнала при работе блока в режиме ручного управления (переключатель $T7$, рис. 180, в положении «Р»). Переключателем $T8$ изменяют фазировку регулятора. В инверсном режиме увеличение переменной относительно заданного значения вызовет уменьшение выходного сигнала, а при прямой фазировке увеличение переменной вызовет увеличение выходного сигнала. Включением в гнезда $I_{\text{вых}}$ внешнего прибора высокой точности проверяют выходной сигнал. Переключатель $T3$ позволяет подать выходной сигнал на вход регулятора и обеспечить режим, в котором блок будет устанавливаться в положение равновесия автоматически. Если в положении переключателя $T3$ «Замк.» сигнал задания будет больше сигнала переменной, то выход РБА будет увеличиваться до тех пор, пока отклонение между значениями этих сигналов не станет равным нулю.



Перед подключением РБА-Ш к стенду с помощью контактных переключателей устанавливают на соответствующих панелях требуемый диапазон

Рис. 180. Коммутационная вставка для проверки РБА

изменения токовых входных и выходного сигналов, а фазировку блока вы-бирают инверсной. Затем блок подключают к разъему ТИ-182 и подают питание.

Сначала проверяют работоспособность блока в режиме ручного управ-ления. Для этого переключатель $T7$ устанавливают в положение «Р», а расположенные на лицевой панели ручки установки ограничений по мини-муму (α_{\min}) — на 0 % и по максимуму (α_{\max}) — на 100 %. Нажимают кнопку B (см. рис. 80) на вставке и убеждаются, что выходной сигнал, измеренный прибором 5 (см. рис. 126), возрастает. При нажатой кнопке M (см. рис. 80) сигнал уменьшается, при ненажатых кнопках B и M дол-жен остаться постоянным.

Для проверки модуля кондуктивного разделения МКР внешний при-бор подключают к гнезду $У_4$ (на рисунке не показано) блока для измере-ния сигнала после МОС. Устанавливают нажатием кнопки M напряжение по внешнему прибору 0,5 В и измеряют $U_{\text{вых}}$. Напряжения после МОС и $U_{\text{вых}}$ должны отличаться не более чем на 0,02 В. Затем устанавливают кнопку B напряжение по внешнему прибору 9,5 В и сравнивают с $U_{\text{вых}}$. Если отличие измеренных напряжений больше допускаемого, регулиров-кой резистора $R_{\text{микро}}$ (см. рис. 178, в) добиваются $U_{\text{вых}}=0,5$ В, а регулиров-кой резистора $R_{\text{мкр max}}$ устанавливают $U_{\text{вых}}=9,5$ В.

Для проверки работы модуля ограничения сигналов МОС устанавли-вают $U_{\text{вых}} \approx 10$ В. Вращая рукоятку α_{\max} (на рисунке не показана), убеж-даются, что $U_{\text{вых}}$ плавно падает до значения 1 В. Отклонение фактического значения ограничения от указанного на шкале должно быть не более 2,5 %.

После этого рукоятку α_{\max} устанавливают на значение 100 % и, нажимая кнопку M (см. рис. 80), снижают $U_{\text{вых}}$ до 0. Вращая рукоятку α_{\min} , убеждаются, что $U_{\text{вых}}$ плавно увеличивается до значения 9 В. Для проверки отклонения фактического значения напряжения ограничения от установленного на шкале ручку шкалы последовательно устанавливают на оцифрованные деления и производят отсчет $U_{\text{вых}}$. Например, для деле-ния 80 % $U_{\text{вых}}$ должно быть $(8 \pm 0,25)$ В, а значение $I_{\text{вых}}=(4 \pm 0,125)$ мА.

Для проверки равновесия блока РБА-Ш на его лицевой панели уста-навливают $T_{\text{и}}=5\text{с}$, $\kappa_{\text{р}}=4$, $T_{\text{д}}=0$ и $T_{\text{дф}}=0$. На коммутационной вставке переключатель $T3$ (см. рис. 180) устанавливают в положение Раз., а $T5$ — Выкл. В режиме ручного управления устанавливают $U_{\text{вых}}=5$ В. Переключатель $T7$ переводят в положение А, при этом $U_{\text{вых}}$ не должно изменяться более чем на 0,2 В. Внешним прибором измеряют $U_{\text{откл}}$ в гнезде «ε» и, если оно превышает 10 мВ, его регулируют резистором R_{ϵ} (см. рис. 178, в). Затем к гнезду $У_2$ блока РБА подключают внешний прибор и устанавли-вают $T_{\text{дф}}=20$ с. Если при этом измеренное напряжение будет более 10 мВ, его регулируют резистором $R_{\text{д}}$ (см. рис. 178, в), после регулировки ручку $T_{\text{дф}}$ блока РБА возвращают в нулевое положение. Несколько раз переключают режим работы блока переключателем $T7$ (рис. 180), каждый раз измеряя $U_{\text{вых}}$. Разница между значениями напряжений в различных режи-мах не должна превышать 0,2 В. Уменьшить при необходимости эту разли-цу можно резистором $R_{\text{и}}$ (см. рис. 178, в). Изменяют $U_{\text{вх}}$ от 0 до 10 В и, измеряя $U_{\text{вых}}$, убеждаются, что эти напряжения отличаются в пределах всего диапазона не более чем на 50 мВ.

Для общей проверки блока схему размыкают и на входы $X1$ (см. рис. 126) и $X2$ подают одинаковые сигналы, при этом регулятор находится в равновесии. Затем увеличивают сигнал $X1$ ($X2$ остается постоянным) и измеряют $U_{\text{вых}}$. В исправном блоке $U_{\text{вых}}$ сначала скачком, а затем плавно уменьшается до 0. При уменьшении сигнала $X1$ $U_{\text{вых}}$ сначала скачком, а затем плавно увеличивается до 10 В. Устанавливают рукоятку T_n на большие значения (например, 40 с) и убеждаются, что $U_{\text{вых}}$ после скачка изменяется с меньшей (чем при $T_n=5$ с) скоростью.

Для проверки соответствия значений k_p на шкале фактически на блоке устанавливают $T_n=0$, $T_{\text{дф}}=0$ и $T_{\text{д}}=0$. Изменяют $U_{\text{вх}}$ (например, до 1 В) и по выходному вольтметру ТИ-182 отсчитывают $U_{\text{вых}}$. На проверяемой точке действительное значение $k_p=U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}}$. Устанавливая k_p на новую отметку, снова фиксируют $U_{\text{вых}}$ и повторяют отсчет. Если при больших значениях k_p значение $U_{\text{вых}}$ превышает 10 В, то уменьшают $U_{\text{вх}}$ (например, до значения 0,5 В). Так, если на точке шкалы 0,3 при $U_{\text{вх}}=1$ В выходное напряжение $U_{\text{вых}}=0,42$ В, то на проверяемой точке фактическое значение $k_p=0,42:1=0,42$.

Для проверки шкалы времени интегрирования схему размыкают переключателем $T3$ (см. рис. 180) и отключают канал дифференцирования переключателем $T5$. Устанавливают $U_{\text{вх1}}=U_{\text{вх2}}=0$. Рукоятку T_n устанавливают на отметку ∞ , а затем на проверяемую точку. Нажимают клавишу 20 % на панели «Сигнал $X1$ » (см. рис. 126) и включают секундомер. Наблюдают за изменением $U_{\text{вых}}$ по прибору 5 и выключают секундомер в момент, когда $U_{\text{вых}}=4$ В.

Для проверки следующей точки снимают входной сигнал, рукоятку T_n устанавливают на ∞ , а затем на новую проверяемую отметку и повторяют измерение.

Для проверки шкалы $T_{\text{д}}$ устанавливают T_n в положение ∞ , отключают $T6$ (см. рис. 180). Систему замыкают, $T4$ устанавливают в положение «Выкл» и ручкой плавной установки $X1$ (см. рис. 126) устанавливают по шкале прибора 2 $U_{\text{вх1}}=3,17$ В. Включают $T4$ и одновременно секундомер. Секундомер выключают, когда $U_{\text{вых}}=1$ В.

Фактические значения k_p , T_n , $T_{\text{д}}$, определенные при проверке блока, фиксируют в специальном протоколе проверки блоков. В этом же протоколе отмечают обнаруженные и устраненные дефекты, замененные узлы, детали, компоненты.

Для предмонтажной проверки блока ручного управления типа БРУ-У используют приставку к ТИ-182 (см. рис. 127), предназначенную для проверки устройств оперативного управления. С помощью штепсельного разъема к приставке подключают проверяемый блок. На кнопочном переключателе 1 нажимают клавишу БРУ-У и включают питание. На БРУ-У нажимают любую из кнопок 3 (рис. 83), при этом должна загореться лампа 4, а на панели приставки — световые индикаторы СИ1 — СИ5 (рис. 127) и СИ11. При нажатии клавиши 2 лампа 4 должна погаснуть, а на панели приставки загореться СИ6 — СИ10 и СИ11. При нажатии кнопки Р1 загораются СИ1 — СИ5, а при нажатии кнопки Р2 верхний ряд индикаторов гаснет и загораются СИ6 — СИ10. С помощью ИРН индикатор 1 (рис. 83) блока устанавливают на значение 100 % и проверяют его работу в пределах всей шкалы.

После проверки БРУ-У к разъему подключают задатчик РЗД (рис. 127) и нажимают клавишу РЗД. Рукояткой переменного резистора $\alpha_{\text{зад}}$ (см. рис. 81) шкалу РЗД устанавливают на проверяемые отметки, отсчитывая фактическое значение $U_{\text{вых}}$ по прибору 2 (см. рис. 127) приставки. Точность шкалы задатчика должна быть не ниже 2,5 %, т. е. разницы между значением сигнала по шкале и измеренным с помощью прибора 2 не может превышать 250 мВ.

Для предмонтажной проверки ЭПП на его вход подключают с соблюдением полярности источник стабилизированных токов ИСТ, а к выходу образцовый манометр класса 0,15, установленный на стенде ЛТ-40. Питается ЭПП от пневмоисточника. При нулевом значении входного тока корректором нуля 6 (см. рис. 59, а) устанавливают $p_{\text{вых}}=0,02$ МПа. Переключатель рода работы 2 (см. рис. 121) устанавливают в положение «Фиксированные токи» и, переставляя переключатель 3 последовательно в положения 1; 2; 3; 4 и 5 мА, по образцовому манометру отсчитывают $p_{\text{вых}}$, соответствующее этим токам. Погрешность преобразования и вариацию вычисляют аналогично рассмотренным ранее для пневматических приборов (§ 53). Их значения не должны превышать 1 % диапазона изменения выходного сигнала.

При проверке выполненного монтажа методом прозвонки убеждаются в правильности подключения проводов 1 (см. рис. 104), 3 и 7 к зажимам шкафа АКЭСР, а также правильность межблочных проводов 3—6 и 9—11 внутри шкафа. Монтаж измерительной системы и системы дистанционного пневматического управления проверяют методами, изложенными в предыдущих главах.

Для проверки элементов АСР к зажимам 21 и 22 БКР подключают ИСТ и подают питание на блоки. Нажимают кнопку Б (БРУ-У) и определяют направление перемещения клапана. Если при этом клапан перемещается в сторону открытия, то система дистанционного управления считается сфазированной верно. Если же клапан перемещается в сторону закрытия, меняют местами проводки 10 и 11 на зажимах 18 и 20 БРУ-У. Затем проверяют правильность расположения перемычек на контактных панелях переключений всех блоков, входящих в АСР. Положение перемычек должно соответствовать роду и диапазону изменения входных и выходных сигналов, а также функциям, которые блоки должны выполнять по проекту.

Задатчиком РЗД устанавливают задание, примерно равное 50 %, а с помощью ИСТ на вход БКР1-Ш подают постоянный ток 2,5 мА. На блоке РБА устанавливают $T_{\text{н}}=\infty$, $T_{\text{д}}=0$, $\kappa_{\text{р}}=0,3$ и нажимают клавишу А (БРУ-У). Увеличивают задание до 60 %, при этом клапан должен перемещаться в сторону открытия. При перемещении клапана в другую сторону от системы отключают напряжение и на панели перемычек блока РБА соответствующую перемычку снимают со штырей «Инверсное» и переносят на штыри «Прямое», после чего напряжение включают снова.

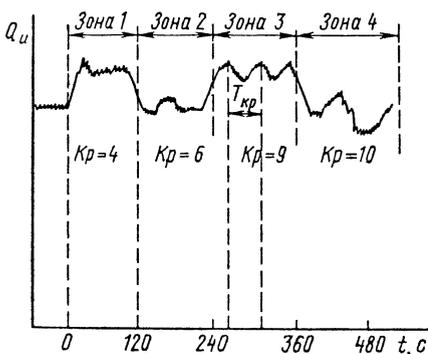
Если при изменении значения задания или переменной выходной сигнал не изменяется, то ИСТ в режиме «Измерение» подключают к контактными гнездам, расположенным на лицевых панелях блоков, и проверяют наличие сигнала на входе и выходе БКР-1Ш, БНП-Ш, РБА-Ш. Если в результате проверки окажется, что на вход блока не поступает сигнал,

проверяют снова правильность монтажа щита или внешних проводок. Если сигнал поступает на вход блока и отсутствует на его выходе, неисправный элемент снимают, предварительно отключив питающее напряжение, и подвергают повторной проверке блок.

Для динамической настройки АСР с блоками АКЭСР можно применять любой из методов, рассмотренных в § 16. Учитывая, что объект управления (например, расход жидкости) является малоинерционным и обладает большим коэффициентом усиления, удобно использовать для рассматриваемой системы настройку АСР выводом ее на границу устойчивости. Для этого на РБА устанавливают $\kappa_p = 1$, $T_n = \infty$, $T_d = T_{дф} = 0$. О начале настройки ставят в известность технологов и согласовывают с ними максимально возможные изменения значения регулируемой величины в процессе наладки. Например, если по технологическим соображениям регулирующий клапан не должен полностью закрываться, а допустимое увеличение расхода составляет 85 % максимального, то ручкой α_{\max} устанавливают ограничение сверху 85, а снизу 40 % (α_{\min}).

АСР переводят на работу в автоматическом режиме и увеличивают κ_p (например, до 4). Изменяют задание регулятору на 10 % и наблюдают характер переходного процесса. Если процесс затухающий (зона 1, рис. 181), снова увеличивают κ_p и наблюдают процесс. При увеличении κ_p колебательность процесса нарастает и при определенном его значении колебания могут стать незатухающими (зона 3, $\kappa_p = 9$). Чтобы убедиться, что при $\kappa_p = 9$ действительно достигнута граница устойчивости, κ_p увеличивают еще и, если колебания становятся расходящимися (зона 4, $\kappa_p = 10$), снова устанавливают $\kappa_p = \kappa_{p, \text{кр}} = 9$ и определяют период незатухающих колебаний $T_{\text{кр}}$. В выбранном масштабе $T_{\text{кр}}$, найденный из графика, составляет 54 с. Пользуясь соотношениями § 16, находят $\kappa_{p, \text{опт}} = \kappa_{p, \text{кр}} \cdot 0,35 = 9 \cdot 0,35 \approx 3,15$ и $T_n = 1,25 \cdot T_{\text{кр}} = 1,25 \cdot 54 \approx 68$ с. На шкале настройки κ_p устанавливают $\kappa_p = 3$, а на шкале настройки T_n — ближайшее к расчетному дискретное значение $T_n = 80$ с. Учитывая, что на графике работы АСР наблюдаются высокочастотные колебания-помехи (которые могут быть вызваны, например, работой поршневых насосов), определяют период колебаний помехи T_n и устанавливают $T_{дф} = 0,35 T_n$.

После завершения настройки АСР в течение трех суток наблюдают за ее работой и при удовлетворительных результатах сдают в эксплуатацию по акту, к которому прикладывают протоколы предмонтажной проверки устройств, входящих в состав АСР, методику и результаты расчета настроек и протокол испытаний.



§ 73. Пневматическая АСР

Для управления узлом абсорбции, технологическая схема которого приведена на рис. 182, а, применена сложная пневматическая АСР (см. рис. 105).

Рис. 181. Настройка АСР выводом на границу устойчивости

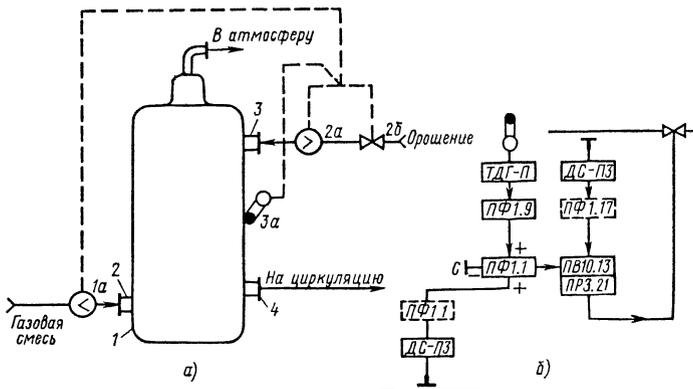


Рис. 182. Функциональная технологическая (а) и структурная (б) схемы пневматической АСР:
1 — абсорбер, 2—4— патрубки

При изучении проекта автоматизации наладчики выясняют технологические требования к точности и быстродействию АСР, граничные значения, которые могут принимать регулируемые величины без нарушения технологического процесса. Для пневматических систем важно взаимное расположение центрального пункта управления (ЦПУ) и помещений, где устанавливаются датчики, преобразователи и исполнительные механизмы, так как при расстоянии между элементами АСР более 300 м из-за транспортного запаздывания применение пневмоавтоматики становится нецелесообразным. При длине пневмолиний свыше 200 м проектом должны быть предусмотрены промежуточные усилители мощности. При изучении аппаратуры, входящей в АСР, должны быть проверены возможности осуществления ручного и автоматического режимов управления. Если по требованиям регламента необходима высокая точность поддержания регулируемой величины на заданном уровне, то для таких АСР на пневматических клапанах предусматривают позиционеры.

По результатам изучения проекта для сложных АСР, как правило, составляют подробное описание технологического участка (аппарата), которым управляет АСР, и принципа действия системы.

На вход абсорбера 1 подают газовую смесь, из которой должен быть извлечен один из компонентов. Навстречу потоку газа насосом подают жидкость (орошение), поглощающую заданный компонент. Обогащенная им жидкость поступает на склад, а оставшиеся газы из головки аппарата выбрасываются в атмосферу.

Степень поглощения будет зависеть от количества подаваемой для орошения жидкости и при некотором его значении для определенной подачи газовой смеси будет полной. Количество подаваемой для полного поглощения жидкости будет зависеть и от температуры в зоне поглощения, так как растворимость газов в жидкостях увеличивается при уменьшении температуры. Из этих требований строят систему регулирования, которая стабилизирует расход орошения 2а в зависимости от расхода газовой смеси 1а и корректирует его с учетом температуры в зоне поглощения 3а.

При работе в автономном режиме (режим «А») регулирующий блок ПР3.31 поддерживает расход орошения на заданном вручную значении. При изменениях расхода газовой смеси систему переводят в режим АП и заданием для регулирующего блока становится расход газовой смеси, подаваемой в аппарат. Это задание изменяется при отклонении температуры в зоне поглощения от номинальной. Значение изменения задания устанавливается на блоке ПФ1.9, после чего оно суммируется в блоке ПФ1.1 с заданием по расходу газовой смеси.

В процессе рассмотрения проектной документации определяют номинальные значения нагрузки и уточняют зависимость между температурой и поглощающей способностью жидкости.

Например, для рассматриваемого аппарата номинальный расход газовой смеси 2000 м³/ч. На каждый кубометр газа необходимо орошение 1,6 т жидкости при номинальной температуре в зоне поглощения 70 °С. При отклонении температуры от номинальной на каждые 5 °С необходимо изменить расход орошения на 0,1 т на каждый 1 м³ расхода газа.

Наладка автоматических систем контроля и дистанционного управления, входящих в пневматические АСР, была рассмотрена в предыдущих параграфах настоящего раздела.

Для проверки регулирующих блоков ПР3.31 на вход p_3 (рис. 183, а и см. рис. 92) подключают задатчик, а $p_{\text{вых}}$ соединяют с p_n . Давления p_3 и $p_{\text{вых}}$ контролируют образцовыми манометрами соответственно М1 и М2. Блок укрепляют на стенде ЛТ-40, подают питание и проверяют герметичность пневмолиний и соединений проверочной схемы.

Проверка контрольной точки заключается в определении разности между давлением задания p_3 и переменной p_n в момент равновесия блока. Так как блок охвачен отрицательной безынерционной обратной связью с коэффициентом усиления 1, то p_n автоматически должно установиться равным p_3 . Для проверки контрольной точки δ и T_n устанавливают на зна-

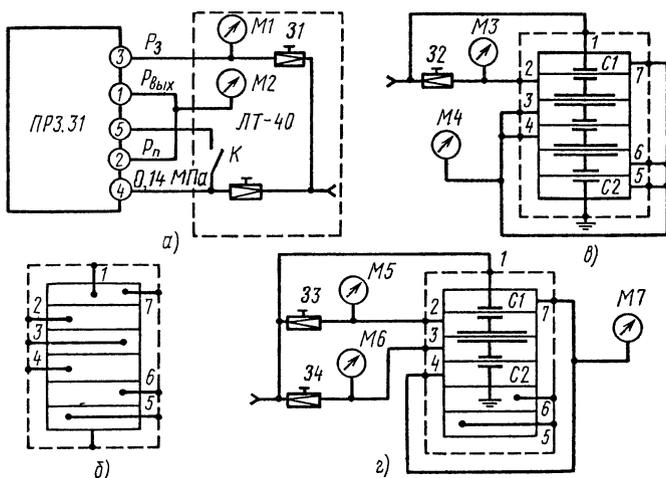


Рис. 183. Схемы проверки регулятора (а), элементов суммирования (в) и сравнения (г) и чертеж платы (б)

чения 5 % и 0,05 мин. $T_{и}$ устанавливают поворотом дросселя 2, а для установки требуемого значения δ дроссель β_2 открывают (отметка 100 % по шкале), а дроссель β_1 поворачивают до совпадения стрелки со значением по шкале, равным 5 %. Задатчиком давления 31 последовательно изменяют давление p_3 от 0,02 до 0,1 МПа и обратно. При этом для любой точки диапазона изменения p_3 разность $p_{п} - p_3$ должна быть не более 0,0008 МПа.

Если для проверки используют образцовые манометры на 0,16 МПа, то при изменении задания по шкале манометра от 12,5 до 62,5 делений разность $p_{п} - p_3$ не должна превышать половины большого деления манометра.

Смещение контрольной точки при изменении диапазона дросселирования δ проверяют следующим образом. Устанавливают $p_3 = 35$ делений по шкале манометра и после успокоения блока ручку дросселя $T_{и}$ устанавливают на отметку ∞ . При изменении δ от 5 до 3000 % разница $p_{п} - p_3$ должна быть не более трех делений по шкале манометра.

Чтобы проверить исправность дросселя $T_{и}$, блок устанавливают на контрольную точку при $T_{и}$, равном 0,5; 1,0 и 5 мин. При этом в исправном блоке соответственно должно увеличиваться время, за которое выходное давление становится равным заданному.

Если в результате рассмотренных проверок окажется, что их результаты отличаются от требуемых, устраняют неисправности блока. Так, если смещение контрольной точки выше допустимого и непостоянно, проверяют герметичность проверочной схемы и подтягивают крепления элементов блока. Если смещение выше допустимого и постоянно, значит рассимметрирован интегратор (элемент 1).

Если при вращении дросселя 2 скорость уравнивания блока не изменяется, затягивают винты крепления дросселей 2 ($T_{и}$) и β_1 и β_2 (δ), для чего снимают их шкалы. Для выравнивания характеристик дросселей при снятой шкале штифтами регулируют плавность профилей плоских пружин, перемещающих иглы в капиллярных трубках.

Если при установке δ от 2 до 3000 % $p_{вых}$ изменяется больше чем на 3 деления шкалы манометра, значит рассимметрирован элемент 6 блока.

При настройке элементов 1 и 6 учитывают, что элементы работают в режиме сравнения. Для проверки элементов используют плату (см. рис. 129). Если элемент рассимметрирован, то сначала его настраивают для работы в режиме суммирования. Для этого элемент устанавливают на плату и подключают задатчик с образцовым манометром М3 к штуцеру, соединенному с плюсовой камерой элемента 1, остальные штуцера соединяют между собой и подключают к ним образцовый манометр М4. При изменении давления задатчиком давление по манометру М4 должно повторять давление по манометру М3 с погрешностью не более половины деления. Если давление по М4 отстает от давления по М3, это свидетельствует о том, что сопло питания ближе, а сопло сброса дальше, чем это требуется, от мембранного блока. Регулируют расстояние между соплами, одновременно вворачивая или выворачивая винты, на которых укреплены сопла. Если при изменении давления задатчиком окажется, что имеется вариация при изменении выходного давления или чувствительность элемента невысокая, то ее регулируют изменением положения одного из сопел. Так,

если сброс давления происходит медленно, то вывертывают сопло сброса в атмосферу (примерно на $1/4$ оборота), если же медленно происходит нарастание давления, вывертывают сопло питания.

Для настройки в режиме сравнения элемент (например, 6) устанавливают на плату и подключают к плюсовому и минусовому штуцерам датчиков, выходное давление которых измеряют образцовыми манометрами М5 и М6. Камеры питающего и сбросного сопел соединяют и подключают к ним манометр М7. Задатчиком З4 по манометру М6 устанавливают $p_{\text{вх}}$, равное 35—40 делениям по шкале. Давление по манометру М7 при этом будет равно нулю. Затем задатчиком З3 увеличивают давление до тех пор, пока $p_{\text{вых}}$ не станет равным давлению питания. В момент изменения $p_{\text{вых}}$ производят отсчет по манометру М5. Если разность давлений (по манометрам М5 и М6) в момент изменения $p_{\text{вых}}$ более 0,0004 МПа или нарастание $p_{\text{вых}}$ происходит немедленно, элементы 6 и 1 настраивают так же, как было изложено выше.

После настройки элементов проверяют характеристики органов динамической настройки, т. е. проверяют соответствие фактических их значений значениям, нанесенным на шкалы дросселей 2, β_1 и β_2 .

Для проверки шкалы диапазона пропорциональности устанавливают $\delta = 100\%$, ($\beta_1 = 100\%$, $\beta_2 = 100\%$) и $T_n = 0,05$ мин. Задатчиком устанавливают $p_3 = 35$ делениям по шкале манометра М1. После уравнивания блока шкалу дросселя 2 устанавливают на отметку ∞ , а δ — на отметку 3000% ($\beta_1 = 100$, а $\beta_2 = 3000\%$). Задатчиком изменяют p_3 на 20 делений по шкале манометра М1 и фиксируют $p_{\text{вых}}$ по манометру М2. Истинное значение диапазона пропорциональности $\delta = (\Delta p_3 / p_{\text{вых}} - 1) \cdot 100\%$.

Затем шкалу дросселя β_2 (см. рис. 92, а) устанавливают на следующую отметку, определяют значение $p_{\text{вых}}$ на второй точке и повторяют расчет. При проверке $\delta < 100\%$ дроссель β_2 устанавливают в положение 100%, а проверяемые значения δ устанавливают с помощью дросселя β_1 .

Например, уменьшив задание на 20 делений ($\Delta p_3 = 20$) при положении дросселя $\beta_1 = 60\%$; если $p_{\text{вых}}$ установится на 22-м делении шкалы ($\Delta p_{\text{вых}} = 35 - 22 = 13$) манометра, то истинное значение

$$\delta = \left(\frac{20}{13} - 1 \right) \cdot 100\% = 54\%.$$

Для проверки характеристики дросселя T_n регулятор балансируют при значениях $p_{\text{вых}} = 35$ делениям по шкале манометра М1, $\delta = 100\%$ и $T_n = 0,05$ мин. Устанавливают шкалу дросселя β_2 на отметку 3000%, а шкалу T_n на проверяемую отметку. Затем резко увеличивают давление p_3 на 20 делений и включают секундомер. В момент, когда $p_{\text{вых}}$ достигнет 48-го деления, секундомер выключают. Время достижения $p_{\text{вых}}$ 48-го деления и есть истинное значение T_n регулятора на проверяемой точке.

Данные фактических значений δ и T_n на оцифрованных точках шкал заносят в протокол проверки или в паспорт регулятора в виде таблиц. Если фактические значения δ и T_n больше или меньше допустимых, регулируют их специальными регулировочными винтами, расположенными под шкалами дросселей 2, β_1 и β_2 .

Для проверки вторичных приборов собирают проверочную схему. На штуцер 4 (см. рис. 65) подают питание $p_{\text{пит}} = 0,14$ МПа, на штуцер 2 подают p_n от задатчика стенда, которое контролируют по образцовому манометру.

метру. Давление $p_{\text{вых}}$ со штуцера 7 контролируют также по образцовому манометру. Для проверки работы задатчика вторичный прибор включают в режиме ручного управления.

При вращении задатчика стрелки вторичного прибора «Задание» и «Клапан» должны синхронно перемещаться по шкалам и погрешность их показаний, сравниваемых с показаниями образцового манометра, должна быть не более 1 %.

Затем проверяют станцию управления вторичного прибора. При нажатой кнопке «Вкл» нажимают кнопку *A*, отключая задатчик от выхода прибора, и давление на клемме 3 должно исчезнуть. Давление на клемме 5 есть. При нажатии кнопки *АП* должно исчезнуть давление на клемме 5 (показания по шкале «Задание» становятся равными нулю), тогда вращение задатчика не изменяет положения стрелок «Задание» и «Клапан». Если в этом положении подать на штуцер 6 от стенда давление 0,02—0,1 МПа, то стрелка «Задание» должна показать это давление, и это же давление должно появиться на клемме 5.

После проверки измерительных преобразователей и регулирующих блоков приступают к проверке функциональных устройств.

Функциональные блоки «Старт» имеют класс точности 1 и для их проверки применяют образцовые манометры с пределами измерения 0—0,1 или 0—0,16 МПа, имеющие 100 делений на шкале.

Для проверки блока простейших алгебраических операций типа ПФ1.1 к входам p_1 — p_3 подключают задатчики 31—33 (рис. 184), давление которых контролируют образцовыми манометрами.

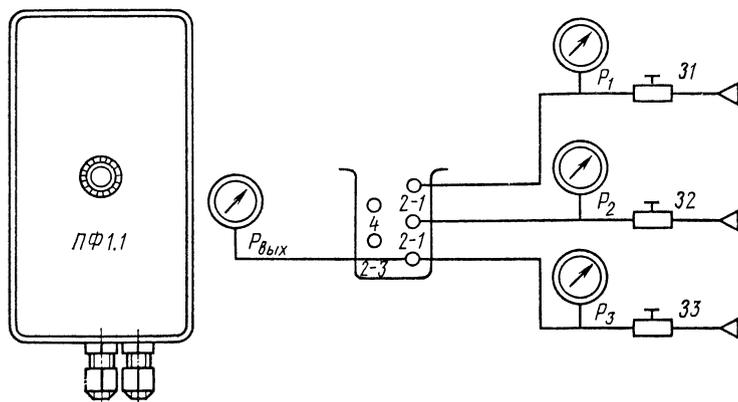


Рис. 184. Схема проверки сумматора ПФ1.1

Проверку начинают с определения работоспособности задатчиков 1 и 2 (см. рис. 93). Для этого на блок подают питание 0,14 МПа и вывертывают винты обоих задатчиков. Плавно ввертывая регулировочный винт задатчика 2, убеждаются в том, что $p_{\text{вых}}$ блока, контролируемое образцовым манометром, растет плавно и достигает при полностью ввернутом винте 0,11—0,12 МПа. Так же проверяют работу задатчика при сбросе давления. Сброс давления должен быть быстрым, а значение давления должно изменяться без провалов или стоянок. После этого устанавливают давление смещения $p_{c2} = 0,1$ МПа и проверяют диапазон действия и моно-

тонность характеристики задатчика I. Для этого, ввертывая винт задатчика I, убеждаются в том, что $p_{\text{вых}}$ монотонно убывает до нулевого значения, и наоборот.

Для проверки основной погрешности блока на вход p_1 (рис. 184) последовательно подают от задатчика 31 давления 0,03; 0,06 и 0,09 МПа и определяют основную погрешность $\gamma = \left[\frac{(p_{\text{вх}} - p_{\text{вых}})}{0,08} \right] \times 100 \%$.

В период проверки *основной погрешности блока* следует контролировать давление питания, оно должно отличаться от номинального (0,14 МПа) не более чем на 0,004 МПа.

Затем при $p_1 = 0,09$ МПа задатчиком 32 подают на вход p_2 давления 0,03; 0,06 и 0,07 МПа и убеждаются в том, что $p_{\text{вых}}$ последовательно уменьшается до 0,06; 0,03 и 0,02 МПа. По приведенной выше формуле для каждой точки определяют основную погрешность. Затем при $p_{\text{вых}} = 0,02$ МПа задатчиком 33 подают давления 0,01; 0,04 и 0,07 МПа. При этом $p_{\text{вх}}$ должно становиться равным 0,03; 0,06 и 0,09 МПа.

Для проверки блока в *режиме умножения на два* от одного задатчика параллельно на входы p_1 и p_3 подают давления 0,03 и 0,05; 0,06 МПа. Давление $p_{\text{вых}}$ соответственно должно принимать при этом значения 0,04; 0,08 и 0,1 МПа.

Для проверки блока в *режиме деления на два* $p_{\text{вх}}$ подают на вход p_2 блока. При подаче на вход p_1 давлений 0,04; 0,08 и 0,1 МПа $p_{\text{вх}}$ должно принимать значения 0,03; 0,05 и 0,06 МПа. Проверку повторяют при введении смещения — p_{c1} (рис. 93) и p_{c2} в пределах всего диапазона изменения входных и выходных сигналов.

Предел допускаемой основной погрешности блока равен 1 %, или 0,0008 МПа. Если при проверке окажется, что основная погрешность больше установленного предела, регулируют семимембранный элемент 3. При проверке его в режиме суммирования применяют манометры класса точности не ниже 0,16. Разность между $p_{\text{вх}}$ и $p_{\text{вых}}$ после регулировки элемента путем изменения положения его сопел должна быть не более 0,0005 МПа.

Для проверки блока умножения на постоянный коэффициент типа ПФ1.9 на его вход (см. рис. 94) подключают задатчик и образцовый манометр.

Если блок поступает с произвольной настройкой, особенно если на объекте сравнительно много множительных устройств и они должны иметь по условиям работы различные значения коэффициентов передачи, производят общую проверку блока. Если значение коэффициента в проекте не оговорено, завод-изготовитель поставляет блоки с коэффициентом $K < 1$.

На блок подают $p_{\text{пит}} = 0,14$ МПа. Отклонение $p_{\text{пит}}$ от номинального в процессе проверки не должно превышать 0,004 МПа. На вход блока подают сигнал $p_{\text{вх}} = 0,02$ МПа. Вращая винты регулировки объема емкостей VI и VIII, убеждаются в том, что $p_{\text{вых}}$ остается равным 0,02 МПа. Если нет, то в точку p_3 принципиальной схемы блока вместо заглушки подключают переходный штуцер, к которому подсоединяют дополнительный образцовый манометр, и задатчиком блока IV устанавливают $p_3 = 0,02$ МПа. Аналогично подключаясь к выходам задатчиков давления I и II, проверяют и при необходимости устанавливают давление подпоры

соответственно 0,04 и 0,095 МПа. Затем проверяют возможность реализации коэффициентов усиления в диапазоне $\kappa=1,1-5$.

В процессе предмонтажной проверки проверяют возможность реализации κ на трех фиксированных значениях: 1,5; 3 и 5. На вход блока подают давление $p_{вх}=0,06$ МПа и для $\kappa=1,5$ определяют $p_{вых\ p}=1,5(0,06-0,02)+0,02=0,08$ МПа. Если $p_{вых}$ меньше $p_{вых\ p}$, одновременно вывертывают регулировочные ручки переменных емкостей, увеличивая $p_{вых}$ до расчетного значения. Если же $p_{вых} > p_{вых\ p}$, ручки емкостей VIII и VI ввертывают, уменьшая их вместимость. Погрешность результата умножения на данной точке

$$\gamma_{1.5} = \frac{p_{вых} - 0,08}{0,08} \cdot 100 \%$$

Затем устанавливают $p_{вх}=0,04$ МПа и определяют $p_{вых\ p}=1,5 \times (0,04-0,02)+0,02=0,05$ МПа. Определяют, $\gamma_{1.5} = \frac{p_{вых} - 0,05}{0,08} \cdot 100 \%$.

Основную погрешность определяют также для $p_{вх}=0,03$ МПа, для которого $p_{вых\ p}=0,045$ МПа.

Одновременно с определением основной погрешности определяют вариацию — разницу между $p_{вых}$, полученными при прямом и обратном ходах проверки, отнесенную к диапазону изменения входного сигнала (0,02 — 0,1 МПа).

Для проверки работы блока при $\kappa=3$ на вход подают $p_{вх}=0,04$ МПа и увеличением объема переменных емкостей добиваются, чтобы $p_{вых}$ стало равным $p_{вых\ p}=3(0,04-0,02)+0,02=0,08$ МПа. Определяют основную погрешность блока, последовательно устанавливая значения давления 0,035; 0,03 и 0,025 МПа. На значении 0,035 МПа добиваются установки $p_{вых}=p_{вых\ p}=0,095$ МПа, а затем определяют погрешность при $p_{вых\ p}$, равном 0,07 и 0,045 МПа. На каждом из значений $p_{вх}$ помимо погрешности определяют и вариацию.

Для проверки блока с $\kappa < 1$ переключатель значения коэффициентов поворачивают на 180° и герметизируют. После этого схема блока становится аналогичной схеме рис. 94. Основную погрешность и вариацию блока определяют при значениях коэффициентов 0,8; 0,5 и 0,3.

Для проверки характеристик блока при $\kappa=0,8$ входное давление устанавливают равным 0,09 МПа и определяют $p_{вых\ p}=0,8 \cdot (0,09-0,02)+0,02=0,076$ МПа. Изменением объемов переменных емкостей добиваются равенства $p_{вых}$ и $p_{вых\ p}$. Если $p_{вых}$ меньше $p_{вых\ p}$, регулировочные ручки ввинчивают в дроссели, уменьшая объем переменных емкостей, если больше расчетного — ручки вывертывают. Определяют (аналогично изложенному для $\kappa > 1$) основную погрешность и вариацию блока при $p_{вх}$, равном 0,07 и 0,05 МПа. Расчетные значения выходного сигнала при этом должны быть 0,06 и 0,044 МПа.

Операции повторяют для $\kappa=0,5$ при $p_{вх}$, равном 0,1; 0,08 и 0,06 МПа, а также для $\kappa=0,3$ при $p_{вх}$, равном 0,1; 0,09 и 0,08 МПа.

Если при проверке окажется, что изменением объема емкостей не удастся реализовать граничные значения коэффициентов (5; 0,2 и 0,3), значит разрегулирован генератор колебаний. Граничных значений коэффициента усиления добиваются, увеличивая частоту генератора увеличением проводимости переменного дросселя XI (см. рис. 94)

Значение основной погрешности и вариации при всех значениях коэффициента усиления и при любых значениях входного давления должно быть не более 1 % от диапазона изменения $p_{вх}$, или 0,0008 МПа.

Когда основная погрешность или вариация блока имеет значения выше допустимого предела, проверяют пятимембранный элемент II в режиме сравнения. Полное изменение $p_{вых}$ в правильно отрегулированном элементе должно происходить при разнице между входными давлениями не более чем 0,0004 МПа.

После проверки работоспособности блоков производят *статический расчет схемы*. В рассматриваемом примере диапазоны измерения преобразователей для измерения расходов газовой смеси и орошения выбраны соответственно 2500 м³/ч и 4000 т/ч. Такой выбор обеспечивает требуемое соотношение этих расходов. При температуре в зоне поглощения 70 °С корректирующее воздействие должно равняться 0, а на выходе ТДГ-П (см. рис. 105) с пределом измерения 0—100 °С $p_{70} = (0,08T/T_{нр}) + 0,02 = (0,08 \cdot 70/100) + 0,02 = 0,076$ МПа. Поскольку сигнал подают на плюсовой вход ПФ1.1, датчиком I (см. рис. 93) при входном сигнале $p_{вх1} = 0,076$ МПа добиваются $p_{вых} = 0,02$ МПа.

Для определения коэффициента усиления ПФ1.9 рассчитывают изменение $p_{вых}$ ТДГ-П при изменении температуры на 5 °С (5 % диапазона измерения). Это изменение будет $0,05 \cdot 0,08 = 0,004$ МПа.

В том случае, когда пневматические сигналы расходомеров линеаризованы, для изменения расхода орошения на 320 т/ч необходимо p_3 увеличить на 0,008 МПа, т. е. k_y ПФ1.9 должен быть равен 2.

Если зависимость между расходами и пневматическими сигналами квадратичная, то при различных нагрузках для изменения расхода на одно и то же значение необходимо скорректировать p_3 на различные значения. Из материала § 60 следует, что при изменении расхода на 1 % при 30; 50 и 100 %-ной нагрузке унифицированный сигнал изменяется соответственно на 0,6; 1 и 2 %, т. е. на $2Q/Q_{max}$. Для нашего случая при номинальной нагрузке $k_y = 2 \cdot 2Q/Q_{max} = 2 \cdot 2 \cdot 3200/4000 = 3,2$. На блоке ПФ1.9 устанавливают требуемое значение k_y .

Проверку выполненного монтажа начинают с проверки правильности подключения пневмолинии к штуцеру прибора. Затем проверяют герметичность системы. Если обнаруживаются негерметичности в пневморазъеме вторичного прибора, резиновые кольца штекеров регулятора покрывают тонким слоем вакуумной смазки или плотнее затягивают винты, которыми регулятор крепится к прибору. Проверяют герметичность линии к исполнительному механизму: устанавливают $p_{вых} = 0,08—0,1$ МПа и после нажатия кнопки А (см. рис. 65) $p_{вых}$ не должно изменяться.

При проверке элементов системы определяют работоспособность регулятора и его фазировку. Для этого к штуцеру 2 подключают пневмотестер и вторичный прибор включают в автоматический режим (кнопки А и «Вкл.» нажаты). Датчиком прибора устанавливают $p_3 = 0,06$ МПа, при этом $p_{вых}$ стремится к нулевому или максимальному значению. Датчиком пневмотестера имитируют $p_n = 0,06$ МПа. При $p_n = p_3$ должно начать изменяться $p_{вых}$ в сторону увеличения или уменьшения.

Для ускорения проверки шкалы дросселей β_1 (см. рис. 92) β_2 и 2 следует установить на отметки $T_n = 0,05$ мин и $\delta = 10 \dots 40$ %.

Правильность фазировки систем проверяют путем логического анализа. Например, если регулируется температура газа изменением подачи охлаждающей воды в теплообменник с помощью клапана, то при увеличении температуры газа выше заданной должно быть увеличено количество охлаждающей воды.

После проверки герметичности пневмолиний и достижения нагрузки, соответствующей расходу орошения выше 30 % предела измерений, включают АСР для работы в качестве автоматической системы стабилизации (режим «А» на ПВ.10-1Э). При достижении номинальной нагрузки проверяют смещения p_{c1} (см. рис. 93) и p_{c2} на ПФ1.1 и работу ПФ1.9 по показаниям контрольных технических манометров и затем, нажимая клавишу «АП» на приборе ПВ10.1Э (см. рис. 65), переводят АСР в работу в следящем режиме с автоматической коррекцией по температуре в погло- тительном аппарате.

Для динамической настройки регулятора выбирают один из методов (см. гл. VI), который с учетом технологических особенностей системы и требований к точности регулирования является наиболее эффективным. Широко применяют для систем пневмоавтоматики метод определения настроек по результатам раскачки объекта регулирования на критической частоте (см. § 16). Для реализации этого метода совместно с техниче- ским персоналом составляют программу испытаний, в которой устанавли- вают значение нагрузки агрегата, допустимое значение возмущения и тре- бования к качеству регулирования. В качестве примера приведем резуль- таты эксперимента и настройки регулятора уровня.

Пример. Система построена следующим образом. Преобразователь уровня вырабатывает пневматический сигнал, который поступает на вторичный прибор и на регулятор ПР3.31, управляющий пневматическим исполнительным механизмом МИМ. В режиме Р было установлено значение уровня 40 % и на исполнительный механизм, находившийся при стабилизации уровня под давлением 0,055 МПа, пода- вались ступенчатые изменения d на 0,018 МПа, или 22 % от диапазона изменения $p_{\text{вых}} = 0,08$ МПа. Знак возмущения изменяли в момент прохождения уровнем зна- чения 40 % и в противофазе с ним. Средняя амплитуда колебаний $A_{кр}$ была равна примерно 1,2 %, а средний период их $T_{кр} = 4$ мин.

Для степени затухания $\psi = 0,9$ оптимальные настройки

$$\delta_{\text{опт}} = \frac{A_{кр}}{0,44d} \cdot 100 \% = \frac{1,2}{22 \cdot 0,44} \cdot 100 = 12,4 \%;$$

$$T_{и, \text{опт}} = 1,25T_{кр}\delta = 1,25 \cdot 4 \cdot 0,124 = 0,625 \text{ мин.}$$

Устанавливают $\delta = 10$ %, $T_{и} = 0,5$ мин и снимают кривую переходного процесса при ступенчатом изменении на 5 % задания регулятору уровня.

Применение рассмотренного метода требует точного определения дей- ствительных значений δ и $T_{и}$ на оцифрованных отметках шкал соответст- вующих дросселей. Кроме того, при снятии характеристики на действующем аппарате при наличии помех для точного определения $A_{кр}$ и $T_{кр}$ объекта требуется длительное время поддерживать объект на критической частоте. Эти недостатки устраняются при использовании поискового мето- да определения настроек АСР по характеристике разомкнутой системы (см. § 16).

Для настройки системы переключатель режимов работы станции управления вторичного прибора переводят в положение Р (см. рис. 65) и, управляя клапаном от задатчика ПВ10.1Э, добиваются постоянства расхода орошения в трубопроводе $I-I$ (см. рис. 105). Затем регулирующий блок ПРЗ-31 (см. рис. 182) снимают с вторичного прибора и к розетке последнего подключают вилку 2 (см. рис. 130) генератора, а регулирующий блок устанавливают в разъем 1. К штуцеру 4 подключают образцовый манометр 5 (предел измерения $0-0,1$ МПа, шкала на 100 делений).

С технологами согласуют максимально допустимые отклонения расхода орошения от установившегося значения A и соответствующие этим отклонениям ступенчатые изменения (перемещения) d . Для облегчения промежуточных расчетов отклонения A и перемещения d обычно выражают в процентах от диапазона изменения входного и выходного сигналов.

По шкале «Клапан» (см. рис. 65) определяют положение ИМ и задатчиком P_0 (см. рис. 130) устанавливают соответствующее этому положению давление на манометре 5. Переключатель $T1$ устанавливают в положение «Настройка» и задатчиком d устанавливают по манометру 5 давление менее P_0 на $2d$.

Например, если допустимое $d \pm 5\%$ полного хода клапана, то допустимая амплитуда $p_{\text{выл}}$ будет $0,08 \cdot 0,05 = 0,004$ МПа. Для увеличения точности настройки схемой генератора предусмотрено масштабирование входного и выходного сигналов с коэффициентом 2. При этом на манометре 5 должно быть установлено давление $P_0 = 0,008$ МПа. Переключатель $T1$ устанавливают в положение «Испытание» и задатчиком P_0 устанавливают давление по манометру 5 несколько меньше, чем давление на клапан. Переводят $T1$ в положение «Настройка», задатчиком « $+d$ » устанавливают на манометре 5 давление $P_0 + 2d$ или для рассматриваемой АСР $P_0 + 0,008$ МПа.

После настройки амплитуды перемещения клапана переключатель $T1$ устанавливают в положение «Испытание», а $T2$ в положение А. На регуляторе 2 устанавливают $T_n = \infty$, а $\delta \approx 40\%$. На вторичном приборе совмещают стрелки «Задание» и «Переменная» (см. рис. 65) и нажимают клавишу «А» станции управления.

Через некоторое время в системе автоматически установятся колебания, амплитуда которых измеряется манометром 5. Рассчитывают оптимальное значение изменения расхода, соответствующее перемещению клапана на 16 делений. Изменение расхода должно быть равно $\Delta Q = 0,35\Delta d$ (5, 6 дел.).

Если, например, в режиме установившихся колебаний изменение расхода составит более 5,6 делений (например, 8), то увеличивают δ . При изменении расхода менее 5,6 делений δ уменьшают.

Для установки требуемого значения T_n , не изменяя найденного значения δ , уменьшают T_n до тех пор, пока ΔQ не станет равным $0,45\Delta d$, т. е. 7,2 делениям.

Как правило, для нахождения настроек δ и T_n требуется не более двух изменений положения дросселей T_n и δ .

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ НАЛАДОЧНЫХ РАБОТАХ

Пусконаладочные работы, как правило, выполняют в опасных и особо опасных условиях. К выполнению работ во вредных условиях, на высоте, в действующих электроустановках допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие первичное или периодическое медицинское освидетельствование, обученные правилам техники безопасности и безопасным приемам труда и соответствующим образом проинструктированные.

Каждый наладчик при приеме на работу проходит *вводный инструктаж*: его знакомят с правилами внутреннего распорядка и специальными требованиями к трудовой и производственной дисциплине, правилами производственной санитарии и гигиены, нормами выдачи спецодежды, спецпитания, порядком предоставления дополнительных отпусков, а также порядком начисления надбавок за работу во вредных, особо вредных и тяжелых условиях. В заключение вводного инструктажа наладчику перечисляют факторы и действия, создающие опасность для здоровья и жизни наладочного персонала и персонала других организаций, проводящих работы на объекте. Вводный инструктаж проводит главный инженер предприятия или инженер по технике безопасности.

Перед направлением наладчика для выполнения любых видов работ начальник участка, производитель работ, мастер или руководитель наладочной группы проводит *производственный инструктаж* по установленной форме.

Наладчика знакомят с проходом к рабочему месту, непосредственно на рабочем месте показывают расположение оборудования, знакомят со схемами питания электроэнергией и сжатым воздухом и точно излагают содержание поручаемых работ, проверяют знание наладчиком технологии заданных к выполнению работ, объясняют и показывают правильные и безопасные приемы работ. В заключение знакомят с источниками повышенной опасности, а также с требованиями безопасности, которые он должен выполнять при производстве работ.

Производственный инструктаж проводят также в случае направления наладчика на другое рабочее место, при изменении вида задаваемых работ или при изменении условий их проведения. Если условия труда не изменялись, то раз в три месяца (не реже) производственный инструктаж повторяют.

Наладчики, допускаемые к выполнению опасных и особо опасных видов работ, изучают требования безопасности труда по следующим материалам: СНиП III-4—80 «Техника безопасности в строительстве», «Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей», «Инструктивные указания по технике безопасности при монтаже приборов и средств автоматизации» и, кроме того, разрабатываемые в каждой организации положения и правила техники безопасности, а затем сдают экзамен.

В результате изучения названных материалов наладчик должен получить четкое представление об опасностях при выполнении наладочных

работ, уметь оказать первую помощь пострадавшему от несчастного случая, знать основы производственной санитарии и гигиены.

Для выполнения работ наладчика обеспечивают спецодеждой, соответствующей характеру выполняемых работ, исправным инструментом и приспособлениями. При выполнении наладочных работ на строящемся предприятии запрещается находиться на строительной площадке без защитных касок. Точно должны быть определены зоны, где допускается проведение работ, и пути прохода к рабочим местам. Не допускается использовать для подхода к рабочему месту и в процессе выполнения работ временные мостики, доски, нестандартные лестницы, а также лифты, подъемники, устройства, предназначенные для подъема, спуска или транспортировки грузов.

Временные рабочие места организуют, как правило, в цехах, пультях управления и других помещениях, где должны быть установлены приборы и средства автоматизации.

Рабочие места располагают так, чтобы выполняемые вблизи другие строительно-монтажные и пусконаладочные работы не создавали опасностей для наладчиков. На рабочих местах должны соблюдаться чистота, порядок, к ним также должен быть обеспечен свободный доступ. Все находящиеся в зоне рабочего места проемы, люки и другие опасные места и устройства закрывают или надежно ограждают. Для напоминания об опасности в зоне рабочего места вывешивают предупредительные плакаты. Рабочие места оснащают необходимыми предохранительными устройствами, защитными приспособлениями, исправными и соответствующими характеру выполняемых работ инструментом и приборами.

В помещениях производственных баз должны быть обеспечены нормальные условия работы (освещенность, температура и влажность), их оснащают средствами индивидуальной защиты и аптечками первой помощи.

Требования к конструкциям устройств, приборов и оборудования, а также к технологическим процессам, которые должны быть выполнены для обеспечения безопасных условий труда, законодательно закреплены системой стандартов безопасности труда (ССБТ).

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Автоматические приборы, регуляторы и вычислительные системы: Справочное пособие/Под ред. Б. Д. Кошарского, Л., 1976.

К а м и н с к и й М. Л., К а м и н с к и й В. М. Монтаж приборов и систем автоматизации. М., 1981.

К а м н е в В. Н. Пусконаладочные работы при монтаже электроустановок. М., 1983.

К а с а т к и н А. С. Основы электротехники. М., 1982.

К л ю е в А. С. и др. Наладка приборов и устройств технологического контроля. М., 1976.

К л ю е в А. С., Г л а з о в Б. В., М и н д и н М. Б. Техника чтения схем автоматического управления и технологического контроля. М., 1983.

Л е й к и н С. И., И л ь и н Б. В. Итеративно-частотный метод настройки промышленных систем регулирования с ПИ-регуляторами. Л., 1970.

Монтаж приборов и средств автоматизации: Справочник/Под ред. А. С. Ключева. М., 1979.

Наладка приборов и устройств технологического контроля./Под ред. А. С. Ключева. М., 1976.

Основы автоматизации химических производств/Под ред. Обновленного П. А. и Гуревича А. Л. Л., 1975.

П р е о б р а ж е н с к и й Л. Н., Д е м к о в и ч В. А. и др. Специальные приборы и регуляторы целлюлозно-бумажного производства. М., 1972.

Т ю р и н Н. И. Введение в метрологию. М., 1976.

Электрические измерения/Под ред. Е. Г. Шрамкова. М., 1972.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Раздел первый. Теоретические основы систем автоматического контроля, регулирования и управления	5
Глава I. Сведения из метрологии и измерительной техники	6
§ 1. Основные понятия, определения	6
§ 2. Погрешности измерений	12
§ 3. Метрологический контроль в СССР	15
Глава II. Автоматическое управление. Основные понятия и определения	17
§ 4. Системы управления	17
§ 5. Регуляторы прямого (примеры автоматической системы регулирования) и непрямого действия	20
§ 6. Отрицательная и положительная обратные связи. Рассогласование	23
Глава III. Динамические характеристики АРС	25
§ 7. Разгонная и временная характеристики. Самовыравнивание.	25
§ 8. Частотные характеристики	27
Глава IV. Типовые звенья АСР	30
§ 9. Характеристики типовых звеньев	30
§ 10. Соединение звеньев АСР	36
§ 11. Звенья, охваченные обратной связью. Переходные процессы	40
Глава V. Объекты управления и типовые законы автоматического регулирования	46
§ 12. Характеристики объектов управления	46
§ 13. Типовые законы автоматического регулирования	49
Глава VI. Динамическая настройка замкнутых АСР	54
§ 14. Критерий устойчивости АСР	54
§ 15. Переходные процессы. Показатели качества переходных процессов	56
§ 16. Критерии выбора оптимальных параметров настройки	59
Глава VII. Надежность приборов и средств автоматизации	67
§ 17. Физическая сущность надежности. Основные определения	67
§ 18. Вопросы надежности при наладке приборов средств автоматизации	71
Раздел второй. Технические средства контроля и управления	74
Глава VIII. Измерительные преобразователи и приборы	75
§ 19. Измерительные преобразователи и приборы температуры	75
§ 20. Измерительные преобразователи и приборы давления и расхода	78
§ 21. Приборы и преобразователи для измерения уровня	82
§ 22. Анализаторы свойств жидкостей и газов	85
§ 23. Системы дистанционной передачи показаний	88
§ 24. Вторичные приборы	92
Глава IX. Электрические регулирующие и управляющие устройства	99
§ 25. Элементы электрических устройств	99
§ 26. Регулирующие блоки Р25	107
§ 27. Функциональные и регулирующие блоки АКЭСР	111
§ 28. Устройства управления, сигнализации, блокировки и защиты	119

Глава X. Пневматические регулирующие и управляющие устройства	126
§ 29. Элементы пневматических устройств	126
§ 30. Регулирующие и функциональные блоки «Старт»	129
§ 31. Блоки управления. Исполнительные устройства. Подготовка сжатого воздуха	135
Раздел третий. Техническая документация проекта автоматизации технологических процессов	138
Глава XI. Общие сведения о проекте	138
§ 32. Состав проекта	138
§ 33. Назначение чертежей и текстовых материалов, используемых при пусконаладочных работах	139
§ 34. Условные обозначения на чертежах	141
Глава XII. Функциональные и принципиальные схемы	146
§ 35. Функциональные схемы	146
§ 36. Принципиальные электрические схемы	149
§ 37. Принципиальные пневматические схемы	153
Глава XIII. Монтажные схемы	154
§ 38. Схемы внешних соединений	154
§ 39. Монтажные чертежи и схемы щитов и пультов	157
Раздел четвертый. Наладка приборов, устройств и систем измерения, регулирования и управления	160
Глава XIV. Пусконаладочные работы первой стадии	160
§ 40. Общие требования	160
§ 41. Изучение проекта автоматизации и подготовка производства пусконаладочных работ	161
§ 42. Производственная база для проведения пусконаладочных работ	165
§ 43. Предмонтажная проверка приборов и средств автоматизации	167
Глава XV. Пусконаладочные работы второй стадии	170
§ 44. Проверка выполненного монтажа	170
§ 45. Включение систем автоматизации при испытаниях и опробовании технологического оборудования	174
Глава XVI. Пусконаладочные работы третьей стадии	176
§ 46. Определение и установка настроек систем автоматизации	176
§ 47. Испытания наладочных систем	178
§ 48. Подготовка и оформление сдаточной документации	179
Глава XVII. Приборы и оборудование, применяемые при наладке приборов и систем автоматизации	181
§ 49. Лабораторные контрольные приборы	181
§ 50. Оборудование и устройства для ПНР	190
Глава XVIII. Системы измерения температуры	199
§ 51. Системы с термопреобразователями сопротивления	199
§ 52. Системы с термоэлектрическими преобразователями	206
§ 53. Системы с манометрическими термопреобразователями	215
§ 54. Бесшкальные преобразователи температуры	219
§ 55. Вспомогательное оборудование систем измерения температуры	221
Глава XIX. Системы контроля давления	223
§ 56. Показывающие манометры и тягонапоромеры	223
§ 57. Системы с дифференциально-трансформаторной передачей показаний	224
§ 58. Пневматические системы дистанционной передачи показаний	231
§ 59. Вспомогательное оборудование систем измерения давления	234
Глава XX. Системы измерения расходов	236
§ 60. Поплавковые механические дифманометры	236
§ 61. Системы постоянного перепада	243

Глава XXI. Системы измерения уровня	247
§ 62. Пьезометрические системы измерения уровня	247
§ 63. Буйковые преобразователи уровня	249
Глава XXII. Системы измерения физико-химических свойств веществ	253
§ 64. Системы измерения содержания кислорода	253
§ 65. Измерительные преобразователи плотности	257
§ 66. Системы измерения pH растворов	258
Глава XXIII. Наладка систем сигнализации, защиты и управления регулирующими органами	263
§ 67. Системы сигнализации и защиты	263
§ 68. Электрические исполнительные механизмы	267
§ 69. Пневматические исполнительные механизмы	269
§ 70. Регулирующие органы	271
Глава XXIV. Наладка автоматических систем регулирования	274
§ 71. АСР с регуляторами Р25	274
§ 72. АСР с блоками АКЭСР	280
§ 73. Пневматическая АСР	288
Глава XXV. Техника безопасности при наладочных работах	299
Список рекомендуемой литературы	301

Борис Залманович Барласов
Владимир Ильич Ильин

НАЛАДКА ПРИБОРОВ И СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ

Зав. редакцией Г. Н. Бурмистров
 Редактор *Н. В. Тихонова*. Младший редактор *О. М. Тучина*. Художественный редактор *Т. В. Панина*. Технический редактор *Л. А. Григорчук*. Корректор *С. К. Завьялова*

ИБ № 5058

Изд. № Инд-323. Сдано в набор 17.09.84. Подп. в печать 22.03.85. Т—05056. Формат 60 × 90¹/₁₆. Бум. кн.-журн. Гарнитура литературная. Печать высокая. 19 усл. печ. л. 19 усл. кр.-отт. 22,92 уч.-изд. л. Тираж 33 000 экз. Зак. № 1591. Цена 85 коп.

Издательство «Высшая школа». 101430, Москва, ГСП-4, Неглинная ул., д. 29/14.

Ордена Октябрьской Революции, ордена Трудового Красного Знамени Ленинградское производственно-техническое объединение «Печатный Двор» имени А. М. Горького Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли. 197136, Ленинград, П-136, Чкаловский просп., 15.

