О. А. МУХИН

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЯ И ВЕНТИЛЯЦИИ

Допущено Министерством высшего и среднего специального образования БССР в качестве учебного пособия для студентов вузов, обучающихся по специальности «Теплогазоснабжение и вентиляция»

МИНСК
«ВЫШЭЙШАЯ ШКОЛА»
1986

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ББК 38.76я73
М92
УДК 696/697:658.012.011.56(075.8)

Рецензенты: кафедра «Теплогазоснабжение и вентиляция» Рижского политехнического института имени А. Я. Пельше; Б. Н. Юрманов, д-р техн. наук, профессор кафедры «Отопление, вентиляция и теплоснабжение» Ленинградского инженерно-строительного института

Мухин О. А.

М 92 Автоматизация систем теплогазоснабжения и вентиляции: Учеб. пособие для вузов.— Мн.: Выш. шк., 1986—304 с.: ил.

Рассматриваются физические основы управления производственными процессами, теоретические основы управления и регулирования, техника и средства автоматизации, схемы автоматизации различных систем ТГВ, технико-экономические данные и перспективы автоматизации

Предназначено для студентов вузов специальности «Теплогазоснабжение и вентиляция»

3206000000—019
М 50—86 ББК 38.76я73

Издательство «Вышэйшая школа», 1986.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ПРЕДИСЛОВИЕ

Широкое внедрение автоматики и средств автоматизации в различные отрасли техники вызвало необходимость изучения дисциплины «Автоматизация производственных процессов» студентами практически всех инженерно-технических специальностей высшей школы.

В задачу изучения дисциплины входит ознакомление с современными принципами и методами эффективного управления производственными процессами и установками, а также автоматическими средствами. Излагаются основы теории управления и регулирования, принцип действия и устройство средств автоматизации, основные принципиальные решения схем, применяемые в системах теплогазоснабжения и вентиляции (ТГВ) для повышения производительности труда и экономии топливно-энергетических ресурсов.

Автоматизация производственного процесса является вершиной в техническом оснащении данной отрасли. Поэтому наряду с обязательными специальными знаниями по объектам автоматизации требуется серьезная подготовка по фундаментальным дисциплинам — специальным разделам математики, физики, теоретической механике, электротехнике и др. Особенностью автоматики является переход от традиционных стационарных режимов и расчетов к нестационарным, динамическим, свойственным области использования средств автоматизации.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

В книге рассмотрены современные отечественные автоматнческие системы, а также некоторые новейшие зарубежные разработки.

При автоматизации используется большой объем графического материала в виде различных схем, поэтому залогом успешного овладения курсом является обязательное знание азбуки автоматики — стандартных условных обозначений. При рассмотрении схем автоматизации автор ограничился лишь принципиальными решениями, предоставив возможность читателю расширить свои познания, пользуясь справочной и нормативной литературой.

Автор выражает глубокую признательность профессорам А. Я. Креслиню и Б. Н. Юрманову за тщательное рецензирование книги.

Автор

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ВВЕДЕНИЕ

Понятие автоматизация в настоящее время употребляется в самом широком смысле слова и служит для обозначения комплекса мероприятий технического и организационного характера, направленных на замену или облегчение труда человека с помощью разнообразных средств: от простых устройств и механизмов до сложных вычислительных комплексов.

Автоматизация — исторически обусловленное, подготовленное всем предшествующим развитием материального производства направление, порожденное научно-техническим прогрессом. Классическое определение автоматизации дал К. Маркс: «Когда рабочая машина выполняет все движения, необходимые для обработки сырого материала, без содействия человека и нуждается лишь в контроле со стороны рабочего, мы имеем перед собой автоматическую систему машин, которая, однако, способна к постоянному усовершенствованию в деталях».*

Техническое устройство называют автоматическим, если оно функционирует и управляется без непосредственного участия человека длительное время. Совокупность технических средств автоматизации (ТСА), выполняющих определенную целевую задачу без участия человека, представляет автоматическую систему. Системой принято называть объединение элементов любой физической природы, рассматриваемых как связное целое, для общей цели — функционирования. Следует различать автоматические и автоматизированные системы, последние допускают периодическое вмешательство человека в деятельность автоматов со строго определенными функциями.

Автоматика — отрасль техники и прикладная на-

---

* Маркс К. Капитал.— Маркс К., Энгельс Ф. Соч., 2-е изд., т. 23, с 392.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

учная дисциплина, разрабатывающая и изучающая принципы построения и расчета автоматических систем, являющаяся частью общей науки о поведении автоматических систем — технической кибернетики. Термиом «автоматика» также широко пользуются для сокращенного обозначения различных средств автоматизации, автоматических систем.

История автоматизации иеразрывио связана с историей техиики и своими кориями уходит в далекое прош-

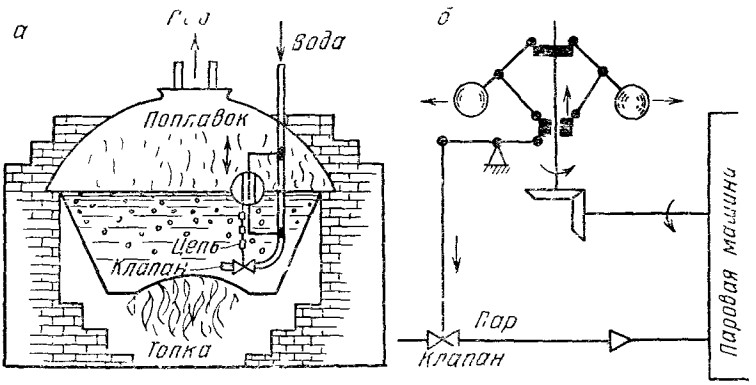


Рис. В.1

лое. Первыми автоматами считают ловушки, после них было изобретено множество автоматов на механической основе с применением гидравлики и пиевматики. Известны автоматы, копирующие движение человека, Героиа Александрийского (I в.). Замечательные автоматы — самодействующие театры, куклы, торговые устройства средневековья, часы — явились ценнейшей школой автоматики. Первое упоминаиие в литературе об автоматических системах относится к XVI в., когда французский воениый инженер А. Рамелли построил водяную мельницу (1588 г.). Подача зерна на жернова в ней регулировалась автоматически в зависимости от твердости зериа и расхода воды. К этому же периоду относится изобретение Б. Паскалем механических счетных машин (1642 г.).

И все же иачалом эры автоматизации считают появление в 1765 г. поплавкового регулятора уровня парового котла (рис. В.1,*а*), изобретенного Иваном Ползуновым в России, и цеитробежиого регулятора скорости па-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ровой машины, построенного в Англии Джеймсом Ваттом в 1784 г. (рис. В.1,*б*). Эволюция автоматики от простейших устройств контроля, локальной автоматики, дистанционного управления к автоматизации технологических процессов с применением вычислительной техники, микропроцессоров и роботов — стремительный путь, который за небольшой отрезок времени прошла автоматизация.

Большой вклад в теорию и практику автоматизации внесли отечественные ученые и инженеры И. А. Вышнеградский, П. П. Шиллинг, В. Н. Чиколев, А. М. Ляпунов, П. Л. Чебышев, Н. Е. Жуковский, А. А. Андронов, И. Н. Вознесенский, В. С. Кулебакин, А. В. Михайлов, С. А. Кантор, И. И. Кириллов, В. В. Солодовников, Я. З. Цыпкин и многие другие видные специалисты. Широкую известность получили труды зарубежных ученых А. Стодолы, Дж. Максвелла, Х. Найквиста, А. Гурвица, Дж. Тракселя, В. Оппельта и др. В области автоматизации систем теплогазоснабжения и вентиляции следует упомянуть теоретические и практические разработки, выполненные С. А. Чистовичем, В. Н. Богословским, Л. Г. Скрицким, Е. Я. Соколовым, Н. М. Зингером, В. Я. Грислисом, В. Т. Благих, А. П. Сафоновым, В. И. Ливчаком, В. Г. Драчневым, А. А. Рымкевичем, А. Я. Креслинем, С. В. Нефеловым, Б. Н. Юрмановым, У. Дюммелем, А. Стембергом, В. Холльманом, В. Петерсом и др.

Партия и правительство постоянно уделяли и уделяют большое внимание электрификации, механизации и автоматизации, причем решающая роль автоматизации производства неоднократно подчеркивалась в директивных документах пленумов и съездов КПСС. Сейчас в стране развернут широкий поиск резервов сокращения расхода топливно-энергетических ресурсов, при этом одну из осиовных ролей, наряду с внедрением прогрессивной техники, технологии и модернизации оборудования, надлежит сыграть автоматизации систем теплогазоснабжения и вентиляции.

Реализация решений партии и правительства точно считать и эффективно использовать каждый рубль, каждый час труда, каждую тонну продукции ради богатства и могущества Родины, благосостояния и процветания нашего народа относится и к задачам, стоящим перед специалистами в области автоматизации систем теплогазоснабжения и вентиляции.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Раздел I. ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Глава 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Во многих отраслях народного хозяйства нагрузки на человека достигли таких пределов, что потребовалась передача ряда его функций автоматам и ЭВМ.

Автоматизировать можно в принципе любой процесс, но без определенных предпосылок, без соединения с передовой технологией невозможно добиться высокого народнохозяйственного эффекта.

В ходе автоматизации затрагивается множество, казалось бы, несвязанных проблем. Для своей реализации автоматизация требует технического, математического, организационного, информационного и правового обеспечения.

1.1. Значение автоматического управления производственными процессами

Автоматизация производственных процессов создает определенные технико-экономические преимущества во всех отраслях современного народного хозяйства страны.

В первую очередь изменяются характер и условия труда на производстве. Сокращаются до минимума трудовые затраты человека, снижается психологическая нагрузка, на его долю остаются лишь функции по перенастройке автоматических систем на новые режимы и участие в ремонтно-наладочных работах. Уменьшается число обслуживающего персонала и затраты на его содержание.

С внедрением средств автоматизации неизбежно повышается производительность труда. За последние сто лет (1870—1970 гг.) производительность труда возросла в 17 раз, при этом доля механизированного труда с 6% увеличилась до 96%. Значительный подъем материаль-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ного и культурного уровня жизни народа, увеличение национального дохода осуществляются за счет повышения производительности труда. Внедрение автоматизации в различных отраслях промышленности дает повышение производительности труда в среднем в 2...2,5 раза.

В результате автоматизации снижается себестоимость изделий, увеличивается выпуск продукции, повышается ее качество, уменьшаются брак и отходы производства, сокращаются расходы на заработную плату, сырье, материалы и т. п. При этом решающим фактором является снижение расхода топлива, тепловой и электрической энергии, что весьма характерно для систем ТГВ. Использование средств автоматизации увеличивает надежность оборудования, точность производства, безопасность труда. Появляется возможность использовать высокоэффективные технологические процессы и устройства, характер применения которых исключает участие человека (ядерная энергетика, химическое производство и т. п.).

Но, пожалуй, главным является то, что автоматизация повышает эффективность и упорядоченность производства. Процесс управления противостоит неупорядоченности, и в этом отношении использование автоматики решающим образом стабилизирует производство.

Внедрение автоматизации приносит и косвенный эффект, так как увеличение производительности оборудования, экономия ресурсов эквивалентны строительству добавочных производственных мощностей. Экономия рабочей силы позволяет более рационально использовать трудовые ресурсы, а улучшение качества продукции способствует экономии топлива, энергии, материалов и т. д.

Важнейший вопрос автоматизации — установление ее рационального уровня и объема, которые должны быть тщательно экономически обоснованы, и определение методов и средств автоматизации. Автоматизация является наиболее экономически выгодным мероприятием и окупается в среднем за 1...1,5 года.

1.2. Условия, аспекты и ступени автоматизации

Сама по себе автоматизация не может обеспечить желаемый технико-экономический эффект, если к этому не будет определенных предпосылок. Прежде всего должна быть определена технико-экономическая польза от самостоятельной работы автоматизированных устано-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

вок. Далеко не всякий технологический процесс и не все операции следует автоматизировать. Автоматизация — не механическая замена ручного труда, поэтому одним из важнейших условий является наличие передовой технологии, непрерывности производства, конструкций, отвечающих требованиям автоматизации. Поэтому не следует усложнять алгоритмы и систему управления, превышая экономически обоснованный уровень. Необходимо стремиться к равномерности автоматизации на отдельных участках производства и в целом (известна автоматическая поточная линия, срок окупаемости которой составляет 86 лет). Большей эффективности автоматизации способствуют также централизация, специализация и массовость производства, научно обоснованная стандартизация и унификация изделий и оборудования.

В объектах автоматизации необходимо обеспечить возможность измерения определяющих технологический процесс величин и разумные пределы их изменения.

Одним из важнейших условий автоматизации является наличие высококвалифицированного обслуживающего персонала.

Автоматизация — сложный процесс, при рассмотрении которого можно выделить ряд аспектов — технические, научные, экономические, социальные, эргономические, экологические.

Технический аспект проявляется в том, что автоматизация способствует совершенствованию орудий и методов труда, появлению новых технологических процессов, приборов, аппаратов. Развитие автоматизации привело к возникновению новых отраслей науки, связанных с космической и вычислительной техникой, лазерами, молекулярной электроникой и т. д.

Экономический аспект определяется комплексно ростом производительности труда, экономией ресурсов, рабочей силы, улучшением качества продукции за счет оптимального управления производством.

Социальный аспект помимо основного фактора — улучшения условий труда — характеризуется высвобождением времени, что создает благоприятные условия для разностороннего применения способностей людей, повышения профессионального мастерства, роста культуры.

Взаимодействие человека и машины на разных уровнях управления далеко не всегда соответствует нормативным требованиям. Выступает на передний план пси-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

хологическая совместимость человека с машинами, приборами, аппаратами, влияние напряженности в нормальных и особенно экстремальных условиях (эргономический аспект).

В экологическом аспекте автоматизация систем ТГВ призвана сыграть решающую роль при обеспечении полноты сжигания топлива, для предотвращения вредных выбросов в атмосферу, утечек теплоносителя, снижения теплопотерь, шума установок, а в ближайшее время и при эксплуатации атомных теплоцентралей.

Эволюция автоматизации связана с тремя четко определившимися ступенями.

Ручной (операторный) труд характеризуется максимальной физической и психологической нагрузкой на человека, минимальной производительностью труда. Механизация способствует внедрению машин в производственные операции, связанные с высокими затратами физического труда, оставляя человеку функции управления и контроля. Автоматизация полностью разгружает человека от физической работы и функций управления производственными процессами, передавая их ТСА. За человеком остаются лишь функции наладки, настройки и наблюдения за работой машин и ТСА.

1.3. Особенности автоматизации систем ТГВ

Функционирование систем ТГВ направлено главным образом на обеспечение оптимальной жизнедеятельности человеческого организма. Таким образом, средства автоматизации в первую очередь должны способствовать созданию комфортных условий жизни и труда человека, предусмотренных нормативными документами.

Системы ТГВ являются крупнейшими потребителями топлива, тепловой и электрической энергии. 30% добываемого топлива расходуется на производство низкопотенциальной теплоты, а на привод насосов и вентиляторов общепромышленного назначения тратится свыше 10% электроэнергетического ресурса страны. Роль автоматизации сжигания топлива, тепловых режимов (при снижении на 1% расхода топлива экономится около 2 млрд. руб. в год) первостепенна.

Важной особенностью систем ТГВ является большая их протяженность, что требует использования систем телемеханики и диспетчеризации.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Многие системы ТГВ являются неотделимой составляющей оборудования технологических процессов. Например, местные отсосы в станках; СКВ связываются с технологией производства средств микроэлектроники, медпрепаратов; системы газоснабжения — с закалочными и обжиговыми печами, сушилами и т. д.

Специфика технологических процессов в системах ТГВ часто характеризуется относительно невысокими требованиями к точности поддержания технологических параметров (например, температуры воздуха — $\pm 2°$, влажности — $\pm 10...20\%$ и т. п.). Это позволяет применять более простые и недорогие ТСА, а иногда и отказываться от них, используя способность объектов к саморегулированию.

Системы ТГВ широко распространены в народном хозяйстве, поэтому особую остроту приобретают вопросы эксплуатации ТСА. Квалификация обслуживающего персонала еще не в полной мере отвечает тем требованиям, которые предъявляют устройства автоматики, что в ряде случаев является тормозом к их внедрению. Необходимо обеспечить простоту и повышенную надежность ТСА, эксплуатация которых часто происходит при неблагоприятных условиях внешней среды и нерегулярном обслуживании.

Глава 2. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Степень автоматизации технологических процессов имеет три уровня в зависимости от доли участия человека-оператора в управлении.

Уровень автоматизации оценивают коэффициентом

$$K_a = 1/(1 + (\Sigma t_н^i / \Sigma t_a^j)),$$

где $t_н^i$ — среднее время по множеству i ($i = 1, 2, \ldots, n$) операций, затрачиваемое на неавтоматические операции (включая управление); t_a^j — то же, но затрачиваемое на автоматическое выполнение операций; $j = 1, 2, \ldots, m$.

Процесс называют автоматическим, если $K_a \geqslant 0{,}98$; при $0{,}98 > K_a > 0{,}5$ процесс автоматизированный. Если $K_a < 0{,}5$, технологический процесс имеет низкий уровень

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

автоматизации по сравнению с вышеуказанными высоким и средним, приближаясь к операторному (ручному) управлению.

2.1. Характеристика технологических процессов

Технологические процессы разделяют на три категории: непрерывные, состоящие из отдельных операций и связанные с пространственным перемещением объекта.

К первой относят физические, в том числе тепловые, гидроаэродинамические, химические и процессы, в которых переменные изменяются во времени непрерывно. Математической моделью таких процессов являются дифференциальные уравнения и их системы. В процессах второй категории команды выполняются в определенной последовательности в зависимости от реализации предыдущей команды. Обычно это операции типа «открыть — закрыть», «больше — меньше», «вход — выход», реализуемые в процессах пуска и останова механизмов, насосов, турбин и некоторых технологических процессах. Математической моделью служат булевы уравнения алгебраической логики и матрицы последовательности операций. При автоматизации процессов третьей категории ставится задача управления пространственным перемещением объектов и контроля изменения их состояния. Это транспортные операции, производственные процессы, связанные с движением материалов и изделий, с процессами хранения. Здесь нельзя обойтись без управляющих вычислительных машин и роботов.

Большинство процессов, автоматизируемых в системах ТГВ, относится к первой категории, характеризующейся относительной простотой технических решений.

Кроме того, встречается разделение производственных процессов на производство продукции потоком (в жидком, твердом, газообразном виде) и штучное производство.

Можно обобщить основные виды управления производственными процессами: начать или прекратить процесс (пуск — выключение); изменить его направление или последовательность операций (сопряженные процессы); повлиять на режим процесса.

Проектирование установки или технологии и их автоматизация — два процесса, взаимно дополняющие друг

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

друга и при правильном применении автоматики приводящие к улучшению функционирования объектов. Их необходимо выполнять только во взаимосвязи.

2.2. Основные определения

С развитием автоматики вводятся и изменяются многие понятия. Кроме того, существует некоторое терминологическое разногласие, когда одно и то же понятие называется по-разному (например, регулируемая величина, или параметр). Поэтому в качестве определяющей принята терминология, предлагаемая Международным электротехническим словарем, с учетом некоторых сложившихся в технике ТГВ традиций.

Элемент — конструктивно обособленная часть системы, выполняющая определенные целевые функции.

Воздействующая переменная (воздействие) — физическая величина, изменение которой влияет на поведение элемента или системы.

Входная переменная — воздействие, изменение которого является причиной изменений в элементе или системе.

Выходная переменная — физическая величина, изменение которой является следствием изменения входной величины и которая определяет функционирование элемента. Входная и выходная величины неразрывно связаны математической моделью процесса. Например, термометр: температура — входная величина, положение столбика ртути — выходная; вентилятор: крутящий момент — входная величина, частота вращения — выходная и т. д.

Вход и выход — точка (место) измерения входной и выходной величин.

Возмущающее воздействие (возмущение) — независимая переменная, изменение которой может влиять на входную переменную. Возмущение может быть внешним и внутренним (консервативным) по отношению к элементу или системе (например, изменение уровня воды в открытом баке за счет атмосферных осадков или вследствие засорения трубопроводов).

Сигнал (импульс) — материальный носитель воздействия — изменение любой физической величины во времени.

Управление — преднамеренное, выбранное из множества, воздействие на объект в результате процессов сбо-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ра, обработки, преобразования и передачи информации, улучшающее функционирование данного объекта.

Управляемая переменная — физическая величина (чаще выходная), на которую накладываются определенные условия ее изменения — быть постоянной или меняться в соответствии с заданным алгоритмом.

Алгоритм — словесное, графическое, аналитическое описание заданного процесса и условий его выполнения.

Алгоритм функционирования — совокупность предписаний, ведущих к правильному выполнению процесса в элементе или системе.

Алгоритм управления — совокупность предписаний, определяющих характер воздействия извне на управляемый объект с целью выполнения алгоритма функционирования.

Объект управления — машина, аппарат, устройство, технологический процесс, т. е. динамическая система, нуждающаяся в целенаправленном воздействии извне. Разновидностью, специфичной для систем ТГВ, может быть управляемый участок применительно к системе трубопроводов.

Управляющее воздействие — изменение физической величины, приводящее к достижению заданного режима в объекте.

Режим — определенное, обычно заданное сочетание параметров работы или течения технологического процесса.

Управляющее устройство, или регулятор (от лат. regulo — устраиваю, направляю),— ручное или автоматическое устройство, осуществляющее управляющее воздействие в соответствии с алгоритмом управления. Без участия человека — автоматический регулятор.

Автоматическая система управления (регулирования) — совокупность объекта управления и автоматического регулятора, действующая по алгоритму управления.

2.3. Классификация подсистем автоматизации

Степень оснащения средствами автоматизации может быть различной и определяется нормативными и техническими требованиями, а также функциональным назначением ТСА. По объему и степени оснащения объекта ТСА автоматизация может быть частичной, полной и комп-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

лексной. Например, если в котельной установке регулируется только давление пара, имеет место частичная автоматизация, а если все процессы автоматизированы,— полная. При автоматизации и вспомогательных операций (погрузки, транспорта топлива и т. п.) с использованием ЭВМ, увязкой с режимами тепловых сетей, других котлов речь идет о комплексной автоматизации.

В ходе управления сложными и простыми объектами приходится осуществлять много функционально различных операций, которые выполняют разные подсистемы, входящие в общую схему автоматизации объекта.

Информационные включают подсистемы технологического контроля и телеизмерения, технологической и телесигнализации. Результат действий этих подсистем адресуется оператору, а его задачей является принятие того или иного решения.

Защитные подсистемы включают средства технологической и аварийной защиты, технологической и аварийной блокировки, предохраняющие технологическое оборудование от последствий неправильной эксплуатации.

К управляющим относятся подсистемы телеуправления, включая дистанционное управление, телемеханические подсистемы, диспетчеризации, автоматического управления и регулирования.

Основные функции подсистемы технологического контроля: а) получение количественных и качественных показателей технологического процесса — всех видов измерений с помощью контрольно-измерительных приборов (КИП); б) наблюдение за ходом технологического процесса. Разница в функциях заключается в том, что во втором случае фиксируется характер изменения физических величин. Для реализации функций технологического контроля применяют приборы местного и дистанционного действия, а также приборы с регистрацией.

Сходные функции у подсистемы технологической сигнализации. Для нее используются те же приборы и технические средства, отличается лишь форма подачи информации в виде соответствующего сигнала. Это световая, звуковая, цветовая (изменяется цвет краски), одоризационная (появляется запах) сигнализация. Форма подачи сигналов — непрерывная и дискретная (проблесковая). Очень важно, чтобы сигнал не был пу-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

гающим и монотонным (привычным). Звуковые сигналы подаются звонками, сиренами, ревунами, зуммерами, иногда выстрелами, световые—лампами, табло, мнемосхемами. Информация должна передаваться без задержек и искажений, причем, желательно, в альтернативном виде (да — нет). Основное требование, предъявляемое к сигналам,— достаточная информативность.

По функциональным признакам подсистемы сигнализации разделяют на командную, контрольную, предупредительную, аварийную и положения (для оповещения о достижении устройствами крайних или промежуточных положений).

Очень важную роль играют подсистемы технологической защиты и блокировки, назначение которых состоит в защите технологического оборудования от аварийных ситуаций и нарушения режима вследствие неправильной эксплуатации совместно работающих объектов. Главными причинами нарушения режима являются: прекращение подачи сырья или энергии, а также несоблюдение синхронности работы установок.

Эти подсистемы, естественно, являются автоматическими и осуществляют оперативное вмешательство для прекращения функционирования объекта в целом или его части путем останова либо переводом на холостой ход. Таким образом осуществляется блокирующее воздействие. Деблокирующее воздействие — повторный пуск после устранения причины нарушения режима.

Различают объектные блокировки (автоматическая защита) и межобъектные (синхронизирующая защита). К первым можно отнести действие различного рода предохранительных устройств — клапанов, плавких предохранителей и т. д. Примером межобъектной блокировки может служить известная последовательность операций при пуске радиальных насосов: закрытие запорного органа, пуск насоса, затем открытие магистрали. Особый вид блокировки — аварийная защита, когда автоматически прекращается доступ энергии, сырья, продукта к объекту, чтобы исключить его неминуемый выход из строя. Сюда часто относят подсистемы автоматического пожаротушения и дымоудаления.

Уровень оснащения объекта автоматизации различными подсистемами зависит от конкретных условий эксплуатации и нормативных документов, определяющих минимально необходимый уровень автоматизации.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Раздел II. ОСНОВЫ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ

Глава 3. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ И СТРУКТУРА СИСТЕМ

Проектирование различных объектов сводится к инженерным расчетам, в основу которых положены зависимости, обеспечивающие функционирование объекта при расчетных номинальных и стационарных условиях.

Введенная в эксплуатацию установка, техпроцесс, машина лишь небольшую долю времени работают в стационарных условиях, большей же частью режимы их работы — нестационарные. В этих условиях объект нуждается в воздействиях извне, чтобы режим возвратился, как минимум, к расчетному. Этот процесс называют управлением объектом.

3.1. Понятие об управлении простыми процессами (объектами)

Функционирование любого физического объекта характеризуется двумя обобщенными параметрами состояния — количественным и функционально связанным с ним качественным.

Количественный параметр — поток энергии, вещества, информации, продукции, непрерывно проходящий через данный объект. Этот параметр определяет поведение объекта, от него зависит главным образом его энергетическое состояние. Например, для систем ТГВ это потоки газа, воды, теплоты, воздуха, электроэнергии и т. д. Различают подвод (источник) энергии к объекту и отвод (потребитель). Например, вентилятор является источником энергии, аэродинамическая сеть — потребителем.

Нарушение баланса между подводом и отводом ведет к нарушению стационарного режима объекта, на что сразу же указывает изменение качественного параметра. При этом существует строгая взаимосвязь между опре-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

деленными параметрами состояния для большинства физических процессов. Связь между количественным и качественным параметрами простых процессов выражается в виде однородного дифференциального уравнения, основанного на обобщенном уравнении движения любых систем в форме уравнения Лагранжа второго рода:

$$\frac{d}{dt}\frac{\partial T}{\partial x_i} - \frac{\partial T}{\partial x_i} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} - \frac{\partial R}{\partial x_i} + f(t),$$

где T — запас кинетической энергии; P — запас потенциальной энергии; $\partial R/(\partial x_i)$ — энергия рассеивания (диссипации); $f(t)$ — внешние силы; x_i — обобщенная координата, которая для различных систем имеет разный физический смысл, но независимо от этого движение подчиняется объективным законам природы.

Основой всех изменений в природе являются количественные изменения, которые, как правило, приводят к изменениям качественным. Этим подтверждается диалектическая сущность процессов, лежащих в основе процесса управления.

Рассмотрим математические модели типовых простых объектов (процессов).

Тепловой объект — емкостный подогреватель:

$$mc\frac{d\theta}{dt} = Q_1 - Q_2,$$

где m — масса теплоносителя; c — его теплоемкость; θ — температура; t — время; Q_1, Q_2 — количество соответственно подводимой и отводимой теплоты.

Гидравлический объект — заполняемый или опорожняемый бак с жидкостью:

$$F\frac{dh}{dt} = V_1 - V_2,$$

где F — площадь бака; h — уровень жидкости; V_1, V_2 — объемные приток и сток.

Аэродинамический объект — газгольдер:

$$\frac{V}{RT}\frac{dp}{dt} = G_1 - G_2,$$

где V — объем сосуда; R — газовая постоянная; p — давление; G_1, G_2 — массовая подача и расход газа.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Механический объект — вентилятор:

$$I\frac{d\omega}{dt} = M_1 - M_2,$$

где I — момент инерции; ω — угловая скорость вращения; M_1 и M_2 — моменты соответственно крутящий и сопротивления (торможения).

Приведенные уравнения связывают не произвольные величины, а физически взаимосвязанные: теплоту с температурой, расход и уровень воды, расход газа с давлением, крутящий момент с частотой вращения и т. д.

Таким образом, вырисовывается определенная связь, которая может быть выражена обобщенным уравнением вида

$$A\dot{x} = \Delta Q, \qquad (2.1)$$

в котором A — постоянная, характеризующая физические свойства объекта; x — качественный параметр состояния; Q — количественный параметр состояния.

При $\Delta Q = 0$, т. е. подводе, равном отводу, и $A = \text{const}$ $\dot{x} = 0$, т. е. $x = \text{const}$ — свидетельство наличия стационарного режима.

Уравнение (2.1) раскрывает главную идею управления процессами. Оно показывает, что качественный параметр является информацией о поведении объекта, а влиять на объект (управлять им) можно только за счет количественных изменений. Иными словами, управляющее воздействие всегда направлено на изменение количественного параметра состояния со стороны подвода или со стороны отвода. Из этого следует, что строгой границы между возмущающими воздействиями и управляющими нет. Это суть количественные изменения.

Для объекта количественный параметр Q будет входной величиной (причина изменений), качественный параметр x — выходной (следствие изменений). При этом изменение качественного параметра $x = f(Q)$ является реакцией объекта на изменение количественного, происшедшее за счет возмущающего либо управляющего воздействия.

Из выражения (2.1) видно: чтобы добиться стабильного значения x, если Q_1 или Q_2 получили возмущение $\Delta Q_в$, следует ввести такое управляющее воздействие $\Delta Q_у$, при котором $A\dot{x} = (Q_1 + \Delta Q_в) - (Q_2 + \Delta Q_у)$.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

В процессе управления одновременно меняются качественные и количественные характеристики объектов, поэтому с формальной точки зрения употребление терминов «количественное регулирование» и «качественное регулирование» не совсем правомерно.

3.2. Сущность процесса управления

Любой функционирующий объект может находиться в одном из двух состояний, детерминированном (предопределенном) и вероятностном (стохастическом). Задачей управления является перевод объекта из второго состояния в первое. Для ее выполнения человек должен обладать информацией о состоянии объекта либо предписанием (алгоритмом) его функционирования.

Значит, в его распоряжении должны быть органы информации, измеряющие качественный параметр,— измерительные приборы либо средства, в которых закодированы определенные команды (руководства, инструкции и т. п.). Помимо этого в распоряжении человека должны находиться органы управления, при помощи которых он осуществляет воздействие на объект, на его количественные характеристики. Известны три основные группы органов управления, характерных для систем ТГВ,— распределительные (клапаны, задвижки, поворотные заслонки и др.), управляющие устройства (насосы, компрессоры, вентиляторы и т. п.) и электрические (реостаты, автотрансформаторы, пускатели и др.).

Схематически реализация идеи управления состоит в следующем: на основе информации выработать соответствующее управляющее воздействие, чтобы вернуть объект к прежнему или перевести на новый стационарный режим. Она показана на примере гидравлического объекта (рис. 3.1,*а*). В схему управления входят основные элементы: *ОУ* — объект управления, наполняемый бак с трубопроводами; *ОИ* — орган информации, поплавок с делениями; *Оп* — оператор и *УО* — управляющий орган, задвижка. Эти элементы находятся во взаимодействии и передают друг другу определенные воздействия в виде сигналов, импульсов. Назовем их: $z=Q_1—Q_2$ — возмущающее воздействие; x — управляемая величина; y — управляющее воздействие; w — задающее (командное) воздействие (x' — преобразованная величина x).

Последовательность операций, выполняемых опера-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

тором в процессе управления, может иметь два варианта: а) восприятие изменения управляемой величины, сравнение текущего ее значения с заданным (нормируемым), принятие решения и оперативное действие; б) восприятие команды, оперативное действие.

Эти два варианта имеют принципиальное различие. В первом случае передача сигналов происходит по замкнутому контуру (рис. 3.1,*б*). Случайное изменение расхода жидкости ΔQ вызывает соответствующее изменение

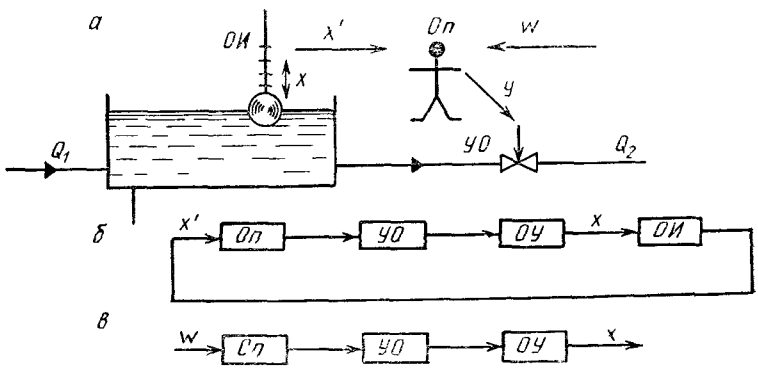


Рис 3.1

ее уровня Δx, оператор изменяет положение задвижки Δy, что приводит к изменению расхода ΔQ и восстановлению исходного значения уровня. В этом случае объект находится под постоянным контролем оператора, который вместе с органом информации и управляющим органом образует своеобразное управляющее устройство, или регулятор, а совместно с объектом — систему управления.

Во втором случае передача воздействий происходит по разомкнутой цепочке. Поведение объекта не контролируется, точность поддержания управляемой величины x зависит от правильности команд w и опыта оператора (рис. 3.1,*в*).

Оба варианта передачи сигналов широко применяются в технике и носят название замкнутых и разомкнутых систем управления. Кроме того, их соответственно именуют системами регулирования и собственно системами управления.

Рассмотренные принципы характеризуют ручное уп-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

равление, или первую стадию управления. Вторая и третья стадии представляют собой полуавтоматическое и автоматическое управление, когда оператор освобождает себя от функции формирования управляющего воздействия (физической нагрузки), а на последней стадии полностью исключает свое участие в процессе управления.

Важным является вопрос о месте приложения управляющего воздействия y. Восстановление стационарного режима характеризуется балансом энергии, причем он может обеспечиваться за счет подвода или отвода энергии.

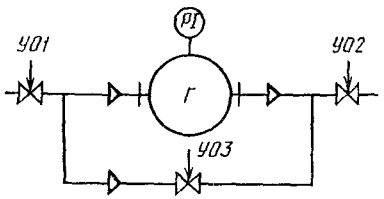


Рис. 3.2

Предположим, в газгольдере $Г$ (рис. 3.2) повысилось давление p. Снизить его можно при помощи управляющих органов на подводе *УО1*, отводе *УО2* и перепуске (байпасе) *УО3*. При этом оператор закроет *УО1* либо откроет *УО2* или *УО3*. В случае, если давление уменьшится, соответственно откроет *УО1* и закроет *УО2* или *УО3*. Хотя действия оператора приводят к одному результату, существуют определенные правила установки управляющего органа. Если появление возмущений характерно для подвода, управляющее устройство необходимо ставить на отводе, и наоборот. В случае появления возмущений с обеих сторон или при неизвестном их характере монтаж осуществляют на байпасе. Вместо часто употребляемых терминов регулирование «до себя» и «после себя» рекомендуется применять «на подводе» и «на отводе».

3.3. Понятие об обратной связи

В предыдущем параграфе было установлено, что передача сигнала (импульса) от элемента к элементу может осуществляться по замкнутому контуру. Иначе, как объект воздействует на управляющий комплекс, так последний воздействует на объект. При этом по пути следования от элемента к элементу меняется физический смысл сигнала. Так, изменение расхода жидкости ΔQ ($м^3/с$) приводит к изменению ее уровня Δx (м) и пере-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

мещению клапана на Δy (м), а изменение площади его проходного сечения (м^2) снова приводит к изменению расхода ΔQ (м^3/с) — цикл замкнулся.

Действие, когда сигнал с выхода элемента поступает на вход и сравнивается с входным сигналом, называется *обратной связью.* Фундаментальное понятие обратной связи, свойственной многим природным явлениям, впервые ввел в 1868 г. Дж. Максвелл. Если обозначить элемент в структурной схеме в виде прямоугольника, а сиг-

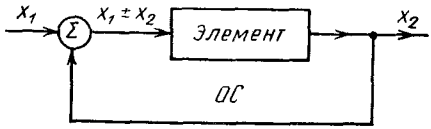


Рис. 3.3

нал в виде векторов входного x_1 и выходного x_2, то изображение обратной связи (ОС), охватывающей элемент, можно представить следующим образом (рис. 3.3). При организации обратной связи сигналы x_1 и x_2 могут складываться или вычитаться, т. е. результирующий сигнал $x_1 \pm x_2$ может быть больше или меньше исходного x_1. Тогда речь идет о положительной ПОС или отрицательной ООС обратной связи.

Логика и опыт подсказывают, что оператор при повышении уровня воды в баке (см. рис. 3.1) должен ввести такое управляющее воздействие, чтобы знак изменения уровня сменился на обратный. Таким образом, расход в отводящей магистрали должен увеличиться, что означает вычитание выходного сигнала и соответственно приведение уровня к стабильному. Значит, введение ООС направлено на компенсацию возмущения, на стабилизацию режима.

Оператор может и прикрыть клапан — обратная связь сохраняется, но превращается в положительную, уровень продолжает расти—режим дестабилизируется, компенсация возмущения не происходит, наоборот, происходит усиление возмущающего воздействия.

Таким образом, оператор в процессе управления должен организовать действия так, чтобы функционировала ООС. Изменение, даже случайное, ООС на ПОС характеризует появление неисправности в системе. Однако это не означает, что ПОС не используется в технике. Приме-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

рами могут служить тормозные системы, различного рода усилители и т. п. Обратные связи могут быть естественными и искусственными. С введением обратных связей системы приобретают свойства, которых до этого не имели. Например, известное управление режимом насосной установки перепуском (байпассированием) является типичным использованием принципа обратной связи. Большинство ОС в органической природе, технике, обществе — отрицательные, что лишний раз подчеркивает их материалистическое единство.

3.4. Автоматический регулятор и структура автоматической системы регулирования

При рассмотрении системы управления, представленной на рис. 3.1, можно заметить, что информационный сигнал x формируется в виде механического перемещения поплавка и управляющее воздействие y — тоже в виде механического перемещения штока клапана. Если согласовать эти воздействия, помня, что при этом должна функционировать ООС, получим систему, изображенную на рис. 3.4, в которой поплавок и шток клапана шарнирно соединены рычагом $АОБ$. При повышении уровня на $\Delta x = x - x_0$ рычаг поворачивается в положение $А'ОБ'$, шток перемещается на величину Δy, открывая проход воде, уровень начинает понижаться, рычаг постепенно возвращается в исходное положение.

Получено автоматическое управляющее устройство, или автоматический регулятор (АР), который регулирует уровень воды и вместе с баком составляет автоматическую систему регулирования (АСР).

АСР характеризуется следующими признаками: воздействия передаются по замкнутому контуру последовательно от элемента к элементу; функционирует ООС; ре-

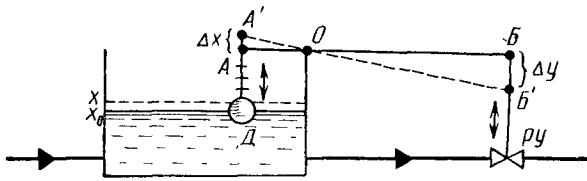


Рис. 3.4

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

гулятор работает постоянно (сравните с предохранительным клапаном).

Структура АСР состоит из тех же основных элементов, что и при ручном управлении (исключая рычаг), которые выполняют те же функции, но без участия человека.

Представленный регулятор является простейшим и состоит из двух основных элементов — чувствительного,

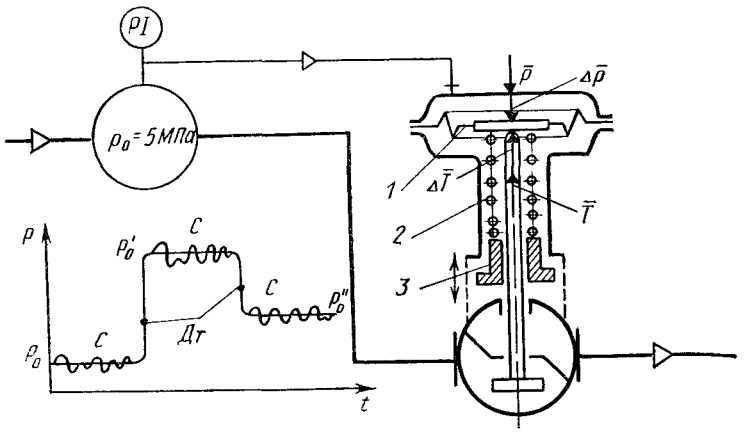


Рис. 3.5

или измерительного, воспринимающего изменение регулируемой величины (уровня), назовем его кратко датчиком Д, и регулирующего устройства РУ — клапана, изменяющего расход жидкости, проходящей через объект.

Такой регулятор называют однорежимным, он рассчитан на поддержание (стабилизацию) только одного значения регулируемой переменной. При необходимости менять режимы с практически неограниченным числом регулируемых величин техника столкнулась бы с проблемой — иметь на каждое исходное значение параметра, условие эксплуатации свой регулятор. Для расширения диапазона действия, сокращения типоразмеров автоматов и предоставления возможности оператору при необходимости вмешиваться в ход автоматического процесса в структуру регуляторов был введен важный элемент — задающее устройство, или задатчик, ЗУ. Регулятор стал многорежимным.

Рассмотрим структуру и функционирование во взаимосвязи всех элементов такого регулятора на примере автоматического регулятора давления газа, который

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

представлен на рис. 3.5. При номинальном давлении, например, $p_0=5$ МПа, в газгольдере равнодействующая $\bar{p}$ на мембрану *1* уравновешивается противодействием $\bar{T}$ пружины *2*, при этом шток клапана неподвижен. При повышении давления $\bar{p}_0+\Delta\bar{p}>\bar{T}$, шток опустится, клапан откроется, выпустив излишек газа в магистраль, и давление p_0 восстановится.

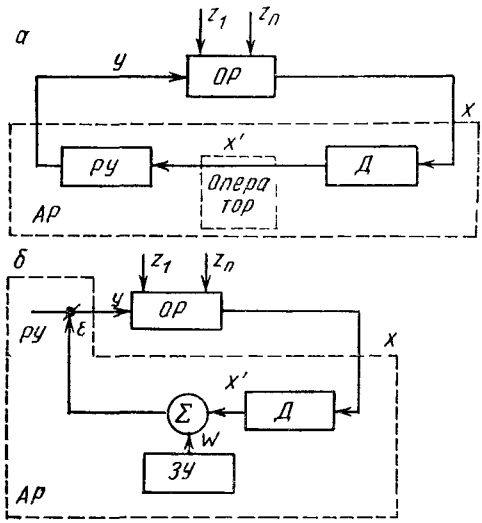


Рис. 3.6

Предположим, что этот регулятор надо поставить на другой объект с $p_0' = 7$ МПа или в этом же газгольдере сначала увеличить, а потом снизить давление до p_0'', т. е. задать иной исходный режим работы всей системе. Это можно сделать поджимной гайкой *3*, которая предварительно сожмет пружину. При этом мембрана переместится вверх за счет усилия $\bar{T}+\Delta\bar{T}$, давление пока сохранится равным p_0, однако клапан прикроется. Уменьшение его пропускной способности приведет к повышению давления, и, когда оно станет равным p_0', мембрана вернется в нейтральное положение при условии $\bar{T}+\Delta\bar{T}=\bar{p}_0+\Delta\bar{p}$. Установится новый режим, но при новом исходном значении регулируемой переменной p_0', что расширяет функциональные возможности средств автоматизации. В дан-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ном случае задающим устройством является пружина с натяжной гайкой.

Из графика на рис. 3.5 видно, что АСР может функционировать в двух основных режимах: стохастическом (случайном) *С*, когда действия регулятора обусловлены появлением случайных внешних и внутренних возмущений (это основной режим АСР, составляющий 90% времени ее работы), и детерминированном (предопределенном) *Дт*, когда АСР, а равно и объект, вынужденно изменяют режим под влиянием известного, заданного воздействия. Только в первом случае исходный сигнал формирует датчик, во втором — задающее устройство.

В автоматике принято структурное устройство систем изображать в виде элементных схем (блок-схем), на которых условно показывают взаимодействие элементов АСР в виде цепей из прямоугольников, соединенных векторами — каналами связи. На рис. 3.6 показаны две элементные схемы однорежимного *(а)* и многорежимного *(б)* автоматических регуляторов, на которых нанесены возмущающие z_1, z_n, информативные x, x', управляющее y и задающее w воздействия, рассогласование $\varepsilon = w \pm x'$, значком Σ обозначено место сложения сигналов x' и w. Показаны разные варианты изображения регулирующих устройств *РУ*. Пунктиром обособлен автоматический регулятор, а также условно показано место оператора.

3.5. Два способа управления

Показанные на рис. 3.4 и 3.5 автоматические регуляторы приводятся в действие за счет энергии регулируемой среды — изменения уровня воды, давления газа и т. п. Такие устройства называют регуляторами прямого действия (РПД) или регуляторами без вспомогательного источника энергии. Усилия, развиваемого датчиком такого регулятора, достаточно для привода в действие регулирующего устройства.

Однако несмотря на главное преимущество — простоту устройства, РПД обладают рядом существенных недостатков. Ограниченность перестановочного усилия не позволяет использовать их в объектах с мощными регулирующими устройствами. Увеличение усилия связано с резким возрастанием массы и габаритов. Например, диаметр мембраны регулятора давления должен быть увеличен примерно вдвое, если при постоянном импульсном

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

давлении потребуется в 4 раза большее усилие (задвижка большего условного прохода, следовательно, и массы).

Относительно небольшое расстояние между датчиком и регулирующим органом сужает радиус действия и область применения регуляторов только в локальных АСР.

Этих недостатков лишены, хотя и за счет усложнения конструкции, регуляторы непрямого действия (РНД), в которых используется для привода регулирующего орга-

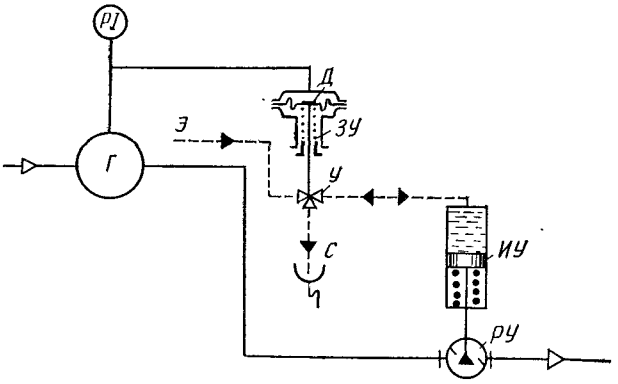


Рис. 3.7

на энергия от постороннего источника. Энергоносителем (регулирующей средой) могут быть жидкости под давлением, сжатые газы, электроэнергия. В соответствии с этим РНД именуют гидравлическими, пневматическими и электрическими, но могут использоваться и комбинации энергоносителей в пневмогидравлических, электропневматических регуляторах.

Рассмотрим принцип действия РНД на примере схемы РПД, представленной на рис. 3.6. Предположим, что усилия от мембраны датчика недостаточно для привода клапана. Пусть имеется магистраль с жидкостью под большим давлением. Тогда, сохранив три основных элемента регулятора (датчик, задающее устройство и регулирующий орган), усилим сигнал, поступающий от датчика, за счет энергии жидкости. Так как регулятор механический, предусмотрим элементы, позволяющие преобразовать механический сигнал в гидравлический, а последний снова в механический — перемещение штока клапана. Используем для этой цели трехходовой кран и

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

гидравлический цилиндр с пружиной, поршень которого соединен с затвором клапана (рис. 3.7).

При изменении давления мембрана датчика *Д* воздействует на кран *У*, в результате чего жидкость под давлением поступает в верхнюю полость гидроцилиндра *ИУ*. Клапан *РУ* открывается, и давление в объекте восстанавливается. При падении давления датчик с помощью крана перекрывает напорную магистраль *Э*, одновременно открывая сливную *С*, через которую жидкость уходит из гидроцилиндра под действием поршня, связанного со сжатой пружиной. Клапан закрывается, и давление в объекте восстанавливается.

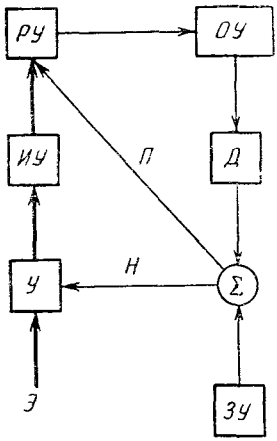


Рис. 3.8

Таким образом, РНД отличается от РПД усиленным исходным сигналом и двумя дополнительными элементами — усилительно-преобразующим устройством, или усилителем (его роль выполняет кран), и исполнительным устройством, или серводвигателем (гидроцилиндр). Усилитель открывает доступ энергии от постороннего источника в контур или цепь управления, исполнительное устройство (механизм) служит для привода регулирующего устройства.

Отношение сигнала на выходе из регулятора x_2 к сигналу на входе x_1 при установившемся режиме принято называть коэффициентом передачи или коэффициентом усиления $K = x_2/x_1$. Это определение справедливо и для других элементов АСР. При последовательном соединении элементов в систему ее коэффициент передачи $K_c = \prod_{i=1} K_i$. При прочих равных условиях коэффициенты усиления РНД больше, чем у РПД.

На рис. 3.8 показаны сравнительные элементные схемы для рассмотренных способов управления (*П*, *Н* — каналы связи соответственно для прямого и непрямого действия; *Э* — энергоноситель). Усложнение структуры не оказывает существенного влияния на принцип действия АСР.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

3.6. Основные принципы управления

Результатом управления является организация управляющего воздействия на систему с желательным изменением ее состояния. При этом на вход системы управления можно подавать сигнал об изменении не только управляемой величины, но и в общем случае любых ее функций и их производных во времени, характеризующих процесс управления.

Для рассмотрения основных принципов управления независимо от конструкции средств автоматизации сравним одинаковые объекты управления и простейшие регуляторы. Задача управления — поддержание температуры воздуха в помещении, оборудованном системой центрального водяного отопления, соединенной с тепловыми сетями. Возмущающие воздействия — изменение наружной температуры, инсоляции, скорости ветра, внутренние бытовые тепловыделения и т. п. ТСА — регуляторы прямого действия, реле времени.

Принцип управления по управляемой величине — компенсационный (принцип Ползунова—Ватта) (рис. 3.9,*а*) — основан на измерении отклонения регулируемой величины (температуры $\theta_в$) от требуемого значения и преобразовании его в управляющее воздействие — перемещение клапана на радиаторе y, изменяющем теплоподачу в прибор и восстанавливающем тепловое равновесие в помещении. Такая система является замкнутой динамической системой с ООС по управляемой величине и обычно называется автоматической системой регулирования, а управляемая величина — регулируемой переменной.

АСР обладает следующими достоинствами: результат ее действия направлен на изменение величины, которая измеряется; система реагирует на интегрированное возмущение, проявляющееся в изменении регулируемой переменной; нет необходимости в жестких требованиях к теплофизическим характеристикам объекта. Недостатками являются: низкая оперативность действия (пока внешние и внутренние возмущения не скажутся на $\theta_в$); действие системы направлено на ликвидацию первичного сигнала, т. е. регулятор сначала допускает изменение $\Delta\theta_в$, а потом его ликвидирует.

По такому принципу функционирует большинство регуляторов в технике, в нашем конкретном случае приве-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ден пример индивидуального автоматического регулирования температуры воздуха.

Принцип управления по возмущению (нагрузке) — компаундный (принцип Понселе́ — Чиколева) (рис. 3.9,*б*) — ориентирован не на следствие, а на причину, нарушающую равновесие объекта, т. е. основное возмущающее воздействие, и преобразование его в управляющее воздействие.

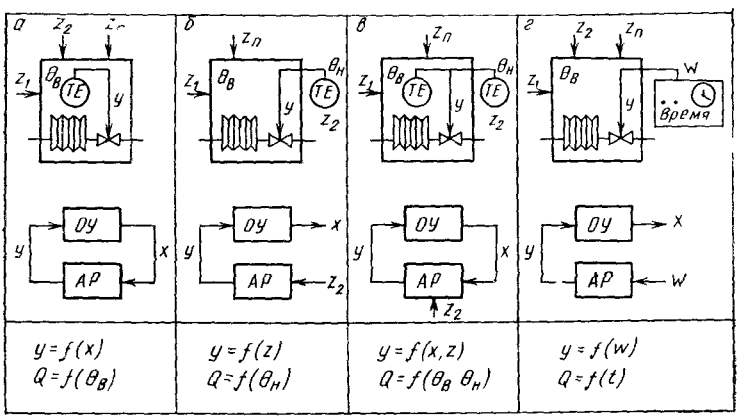


Рис. 3.9

Измернм наружную температуру $\theta_н$ и соответственно изменим теплоподачу в нагревательный прибор. В результате получим некоторое улучшение температурного режима помещения за счет большей оперативности действия, так как регулятор, реагируя на возмущение — падение $\theta_н$, стал изменять режим, не ожидая начала изменения $\theta_в$. Однако при этом управляемая величина $\theta_в$ не измеряется, поэтому получается разомкнутая динамическая система, не обладающая ООС,— собственно автоматическая система управления (АСУ). АСУ инвариантна (независима) по отношению ко всем возмущениям, кроме основного, например $z_2 = \theta_н$. Хотя действие системы направлено на стабилизацию $\theta_в$, о точности поддержания этой величины судить трудно, так как она изменяется принудительно, а сигнал об ее изменении отсутствует. По этому принципу осуществляется отпуск теплоты на ТЭЦ, в групповых (ГТП) и некоторых местных (МТП) тепловых пунктах.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Принцип комбинированного управления (рис. 3.9,*в*) объединяет два принципа и имеет два канала — измерение отклонения регулируемой переменной и измерение возмущающего воздействия. Применяется, например, при автоматическом управлении отпуском теплоты в МТП, при пофасадном управлении (регулировании).

Принцип программного управления (рис. 3.9, *г*) является разновидностью принципа управления по возмущению с той разницей, что для формирования управляющего воздействия используется задающее воздействие (программа). Этот принцип часто используется в комбинации с принципом компенсации возмущений. Примером может служить программный отпуск теплоты на отопление в зависимости от времени суток, назначения здания (например, теплоснабжение институтов и школ в ночное время можно перевести на пониженный режим).

Принцип адаптации, или приспособления, в системах управления появился с развитием кибернетики и совершенствуется на основе использования вычислительной техники.

Таковы АСР с переменной структурой, у которых связи между элементами меняются в зависимости от состояния системы, обеспечивая оптимальное функционирование в конкретных условиях.

Таким образом, при одинаковых объектах и средствах автоматизации могут быть приняты различные принципиальные закономерности управления, что видно из сравнения блок-схем, показанных на рис. 3.9. Там же даны функциональные зависимости управляющего сигнала y и теплоподачи Q от исходного сигнала.

Традиционный термин «регулирование» в технической литературе все чаще заменяется более общим «управление».

Глава 4. ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ И ЕГО СВОЙСТВА

Основными элементами системы управления являются объект автоматизации и ТСА, находящиеся в постоянном взаимодействии. Многообразие объектов ставит задачу выявления их обобщенных свойств, способствующих

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

или препятствующих автоматизации. В данной главе показано, как можно систематизировать объекты по общим физическим признакам, которые положены в основу их функционирования, и выявить математическую модель, пригодную также для исследования всей системы.

4.1. Аккумулирующая способность объекта

Свойство объекта накапливать энергию, вещество, информацию называют его аккумулирующей способностью. Эту способность характеризует в полной мере емкость объекта, т. е. запас накопленной энергии, вещества, информации и т. п. Объекты в зависимости от физических процессов, происходящих в них, могут иметь соответственно емкости гидравлические, электрические, тепловые и т. д. Но емкость как таковая еще недостаточно полно характеризует процесс управления, хотя и понятно, например, что изменения притока и стока воды будут влиять меньше на бак с бо́льшими геометрическими размерами.

В параграфе 3.1 приведены уравнения простых процессов, которые можно обобщить выражением $Adx/dt = \Delta Q$. Как следует из этого выражения для конкретных объектов, одинаковые возмущения по-разному влияют на объект. Чем больше A, характеризующая собственные свойства объекта, тем меньше скорость изменения регулируемой переменной $\dot{x}$, и наоборот.

Выясним физический смысл и значение величины A. Предположим, что имеются два бака одинаковой вместимости V для обеспечения заданного гидростатического напора H, причем расположены они, как показано на рис. 4.1. Уравнениями движения для этих объектов будут $F_1\dot{H} = V_1 - V_2$ и $F_2\dot{H} = V_1 - V_2$, т. е. в качестве коэффициента A выступает площадь поперечного сечения сосудов, причем $F_1 > F_2$. Следовательно, одинаковые возмущения ΔV в баках равной вместимости будут сказываться на уровне по-разному: скорость изменения уровня и напора H будет больше у бака с меньшей площадью F_2. При анализе математических моделей простых объектов более важную роль играет скорость изменения регулируемой величины.

Величина A называется коэффициентом емкости или аккумулирующей способностью и может быть постоянной и переменной (например, у конического бака). Как сле-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

дует из уравнений простых процессов, коэффициентами емкости могут являться теплоемкость, момент инерции, масса сухого вещества при сушке и увлажнении и т. д. A — это удельная энергия, необходимая для изменения на единицу качественного параметра состояния процесса.

Объекты могут состоять из одного (простые) или нескольких (сложные) аккумуляторов, соединенных между собой в различных сочетаниях.

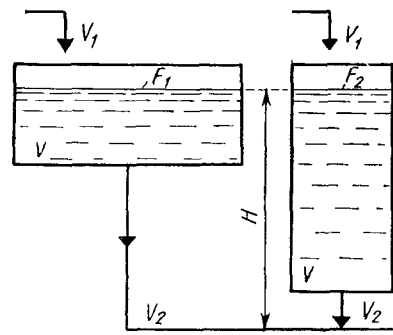


Рис. 4.1

Простой объект — расширительный сосуд; сложный, двухаккумуляторный — подогреватель горячего водоснабжения. С ростом числа аккумуляторов увеличивается порядок дифференциальных уравнений, описывающих объект. Простые объекты имеют одну регулируемую среду, наиболее распространенные тепловые объекты — двухъемкостные — регулируемую и регулирующую среды. Например, для радиатора регулирующая среда — теплоноситель, регулируемая — воздух, для конвектора регулирующими средами являются и вода, и воздух, регулируемой — тот же воздух.

Помимо простых и сложных объектов, с так называемыми сосредоточенными параметрами, существуют объекты, у которых аккумулирующая способность изменяется в пространстве и во времени. Это объекты с распределенными параметрами, например магистрали газоснабжения, теплоснабжения, здания, у которых выявление аккумулирующей способности сопряжено с известными трудностями.

4.2. Саморегулирование. Влияние внутренней обратной связи

Свойство объекта, выведенного из положения равновесия, возвращаться к прежнему или переходить к новому равновесному состоянию без воздействия извне называют *саморегулированием* или *самовыравниванием*. Рас-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

смотрим это свойство, характеризующее статическую устойчивость, на примере гидравлических объектов.

Астатический объект (без саморегулирования) показан на рис. 4.2,*а*. Его равновесное состояние при уровне жидкости $H_0=\text{const}$ соблюдается только когда $G_1=G_2$, что в идеальном случае обеспечивается при равной частоте вращения одинаковых насосов: $n_1=n_2=n_0$.

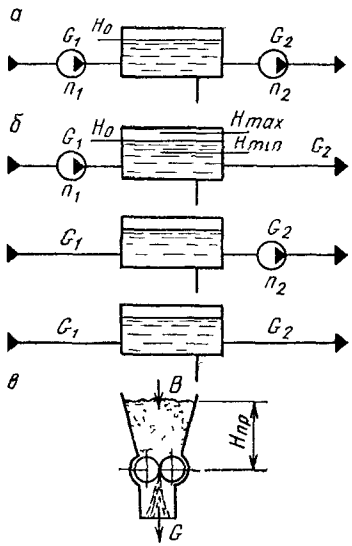


Рис. 4.2

При нарушении равновесия, т. е. при $n_1<n_2$ и $G_1<G_2$, бак начинает опорожняться; при $n_1>n_2$ и $G_1>G_2$ он переполняется. Начав изменяться, регулируемая переменная не возвращается к значению H_0. Объект саморегулированием не обладает и нуждается в управлении.

Статические объекты (с саморегулированием) показаны на рис. 4.2, *б*. Пусть теперь на отводе вместо насоса будет только магистраль, через которую проходит такой же объем жидкости G_2, но самоизливом. Условие $H_0=\text{const}$ соблюдается при $n_0=\text{const}$ и $G_1=G_2$. Предположим, что $n_1>n_0$, тогда увеличится приток в бак, уровень жидкости начнет подниматься, но вместе с тем повысится гидростатическое давление, что в свою очередь приведет к возрастанию расхода через отводящую магистраль. Скорость повышения уровня жидкости постепенно начнет уменьшаться, и наступит новое положение равновесия, но при значении $H_{max}>H_0$. В случае $n_1<n_0$ получим также новое положение равновесия при уровне $H_{min}<H_0$. Такой объект обладает саморегулированием со стороны отвода, а подобный эффект может быть получен при ликвидации насоса на подводе или обоих насосов (см. рис. 4.2). Саморегулирование позволяет в ряде случаев отказаться от регуляторов за счет использования физических свойств объекта.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Неустойчивые объекты имеют отрицательное саморегулирование. Примером может служить шаровая барабанная мельница (рис. 4.2,*в*). При загрузке сырьем ниже предельного уровня $H_{пр}$ она является статическим объектом, при предельной загрузке превращается в астатический, а при перегрузке—в неустойчивый объект. Если в последнем случае еще увеличить подачу сырья B, то это приведет к уменьшению выхода размола G, разбаланс между ними будет непрерывно расти и вызывать увеличение загрузки с возрастающей скоростью. В конечном итоге выдача размола прекратится, мельница окажется переполненной и остановится. Другими примерами неустойчивых объектов являются также компрессоры и воздуходувки, работающие в помпажном режиме.

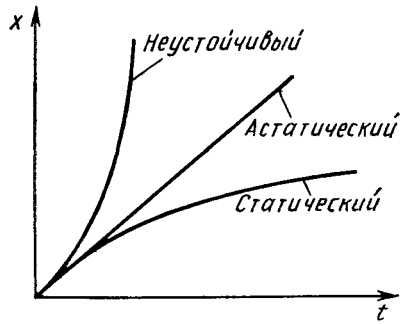


Рис. 4 3

Имеется типичная взаимосвязь между количественным и качественным параметрами рассмотренных объектов, которая лежит в основе эффекта саморегулирования. Астатический объект обладает строго детектированной (однонаправленной) последовательностью воздействий, т. е. количественный параметр воздействует на качественный. Статический объект в определенных условиях наряду с рассмотренной взаимосвязью параметров имеет и обратное влияние качественного параметра на количественный (уровень на расход). Стабилизация режима идет за счет внутренней естественной отрицательной обратной связи — главной причины саморегулирования. Неустойчивые объекты тоже имеют обратную связь, но положительную, которая приводит к увеличению возмущения, к дестабилизации режима. На рис. 4.3 показан характер изменения регулируемой переменной во времени для этих объектов. Итак, астатический и неустойчивый объекты обязательно нуждаются в управлении. Что касается статических объектов, все зависит от диапазона $x_{max} > x_0 > x_{min}$, в котором должна находиться регулируемая переменная x_0.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

4.3. Запаздывание

Реакция объекта на возмущающее или управляющее воздействие не бывает мгновенной по различным причинам. Отставание начала изменения регулируемой переменной по отношению к моменту изменения количественного параметра называют *запаздыванием*. Иначе—отставание выходного сигнала по отношению к входному.

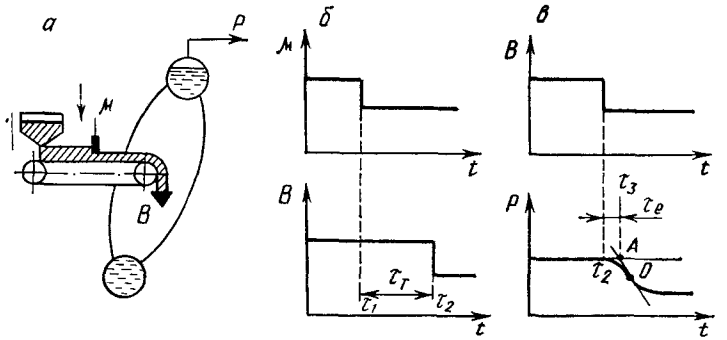


Рис. 4.4

Рассмотрим причины возникновения запаздывания на примере парогенератора с ленточным питателем — транспортером твердого топлива (рис. 4.4,*а*). Транспортер оборудован регулирующим устройством шиберного типа, сгребающим излишек топлива. Проследим за изменением выходных величин в транспортере и парогенераторе раздельно.

При изменении положения шибера μ в момент τ_1 подача топлива B некоторое время (движение на ленте) останется неизменной и лишь по прошествии $\tau_т$ скачкообразно изменится. Этот процесс иллюстрируется графически (рис. 4.4,*б*) зависимостью $\mu=f(t)$ входной величины и $B=f(t)$ — выходной. Время $\tau_т=\tau_2-\tau_1$ называют *временем чистого или транспортного запаздывания*. Это запаздывание зависит от геометрических размеров объекта (чаще длины), аккумулирующей способности, нагрузки и характеризуется внезапным появлением сигнала на выходе. Наиболее характерен этот вид запаздывания для транспортных объектов, в особенности магистралей.

При мгновенном изменении подачи топлива B реакция объекта — изменение давления $p=f(t)$—будет уже иной,

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

характеризуемой плавной кривой. Скорость изменения регулируемой величины начинает возрастать постепенно, что связано с наличием *переходного, или емкостного, запаздывания* $\tau_e=\tau_3-\tau_2$. Оно отсчитывается от момента нанесения возмущения до момента, соответствующего точке пересечения A касательной, проведенной к кривой $p=f(t)$ из точки перегиба O, с асимптотой.

Если рассматривать процесс управления в целом для объекта, то отставание сигнала $p(t)$ в зависимости от $\mu(t)$ определится суммарным временем $\tau=\tau_т+\tau_e$ — *временем полного запаздывания.*

Запаздывание затрудняет процессы управления и восстановления значения управляемой переменной и входит в число важнейших показателей процесса управления. Поскольку запаздывание является следствием проявления инерционности, оно присуще и другим элементам систем автоматизации и может вносить серьезные искажения в процесс передачи сигнала.

4.4. Статические характеристики объекта

Статическим или равновесным режимом называют условия, при которых параметры состояния объекта остаются неизменными во времени. При этом поведение объекта описывается аналитическими или графическими зависимостями выходной величины от входной вида $x=f(Q)$ — *статическими характеристиками.* Так как могут меняться количественные параметры и на подводе, и на отводе, объект может иметь две статические характеристики $x=f(Q_1)$ и $x=f(Q_2)$. Для определения статического режима, при котором будет соблюдаться энергетический или материальный баланс, необходимо совместно решить указанные уравнения и найти значение x, удовлетворяющее обеим зависимостям.

Рассмотрим использование этого метода. Статическими характеристиками элементов установки, состоящей из источника энергии — вентилятора и потребителя — сети, являются зависимости давления от подачи (расхода) воздуха $p=f(V)$. Причем для вентилятора $p=K_1n^2+2K_2nV+K_3V^2$, где $K_1...K_3$ — экспериментальные коэффициенты; n — частота вращения. Статическая характеристика отвода — сети: $p=RV^2$. Решив совместно эти уравнения, нетрудно найти значения p_0 и V_0 при $n=$

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

=const, которые и определяют статический расчетный режим установки.

Такую задачу можно решить графически, построив указанные характеристики на одном координатном поле (рис. 4.5,*а*). Точка *О* пересечения характеристик с координатами p_0, V_0 называется режимной или рабочей точкой статического режима. Этот метод «наложения» характеристик, заимствованный из теории управления,

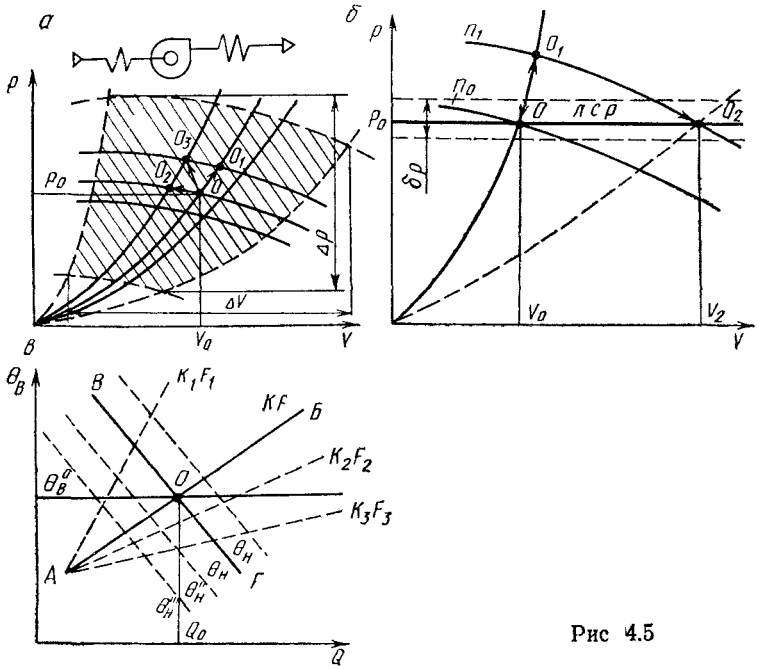


Рис 4.5

используется, например, при подборе гидравлических машин.

Нарушение режима работы установки происходит за счет изменения характеристик вентилятора или сети, при этом имеет место их смещение и соответственно смещение режимной точки *О* в положение O_1 или O_2, а при одновременном их изменении — в точку O_3. Таким образом, векторы OO_1, OO_2 и OO_3 характеризуют процесс возмущения в системе. Очевидно, существуют такие предельные положения характеристик подвода и отвода (пунктирные), которые ограничивают зону возможных изме-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

нений режима—режимное поле (заштриховано). Размеры этой зоны позволяют оценить пределы изменения количественного параметра ΔV и значения качественного Δp, что важно для оценки возможностей регулирующих органов и измерительных элементов. Под воздействием возмущений на подводе или отводе режимная точка O может перемещаться по всему режимному полю, однако условиями управления это перемещение ограничено. В идеальном случае управления возвращение режима в точку O связано с техническими трудностями, реальнее путь к значению $p=\text{const}$, т. е. на линию статических режимов (л.с.р.) или в зону δp, где параметр ограничен по точности, например, нормативными требованиями (рис. 4.5,*б*). Таким образом, возврат режимной точки, или процесс управления, графически может быть, во-первых, выражен вектором O_1O (рис. 4, 5,*б*), что означает необходимость предусмотреть устройство, снижающее частоту вращения,— редуктор, автотрансформатор и т. п. Это возможный, но сложный путь. Другим вариантом является путь O_1O_2 — уменьшение сопротивления сети открытием управляющего органа, чем и пользуются на практике.

На рис. 4.5,*в* показаны характеристики подвода теплоты системой отопления — $АБ$ и отвода (теплопотери здания) — $ВГ$, построенные для анализа тепловых режимов помещений. По известному соотношению $Q=KF\Delta\theta$ в координатах $\theta_в$ — Q (температура воздуха — количество теплоты) построены и другие линии для различных наружных температур ($\theta'_н...\theta'''_н$) и теплотехнических качеств системы отопления ($K_1F_1...K_3F_3$). Таким образом, управление тепловым режимом может осуществляться конгруэнтным смещением и поворотом характеристик, т. е. возможен выбор метода управления.

Анализ статических характеристик позволяет определить показатели установившегося режима при разных нагрузках объекта, сопоставить результаты, получаемые при различных методах управления.

4.5. Динамический режим объекта

Динамический, или неустановившийся, режим функционирования объекта предполагает временный материальный или энергетический дисбаланс под воздействием возмущений.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Динамической характеристикой объекта называют зависимость выходной величины от входной во времени. Для определения вида динамических характеристик прибегают либо к теоретическому анализу, либо к эксперименту. В первом случае составляют математическую модель объекта в форме дифференциальных уравнений динамики, движения объекта, описывающих процесс передачи энергии на неустановившихся режимах. Во втором,

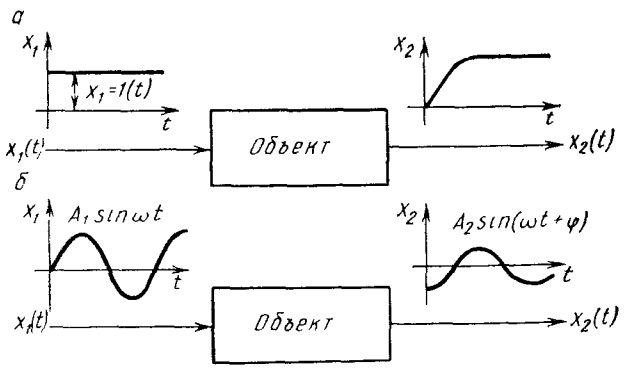


Рис. 4.6

изменяя возмущающее или управляющее воздействие, определяют закономерность изменения регулируемой переменной. Вид динамических характеристик зависит не только от свойств объекта, но и от формы возмущающего воздействия. В силу разнообразия возмущающих и управляющих воздействий возникла проблема выявления стандартных, типовых возмущающих воздействий для унификации реакции на них различных объектов.

Вначале было предложено возмущающее воздействие (нагрузка) в форме единичного толчка или единичной ступенчатой функции $x=1$ — полное открытие (закрытие) управляющих органов, максимальный подвод энергии и т. д. Для многих объектов этот вид максимального возмущения считается наиболее неблагоприятным. Реакцией (откликом) на этот вид возмущения $1(t)=0$ при $t<0$ и $1(t)=1$ при $t>0$ является временна́я динамическая характеристика, называемая часто переходной функцией. В аналитической форме она представляет собой решение дифференциального уравнения движения объекта, в графической — показывается в виде кривой разгона. На рис.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

4.6,*а* представлены единичная функция $x_1(t)$ и кривая разгона $x_2(t)$.

Скачкообразные возмущения характерны не для всех объектов. Например, рассматривая эффект инсоляции, нетрудно убедиться в периодическом действии этого фактора на тепловой режим здания. Если на вход подобного объекта подать возмущение в виде гармонического колебания определенной частоты, то спустя некоторое время выходная величина также начнет гармонически изменяться с амплитудой и фазой, зависящими от частоты сигнала и физических свойств объекта. Реакция объекта в форме частотной характеристики имеет разновидности: амплитудно-фазовую, амплитудно-частотную и фазочастотную. На рис. 4.6,*б* показаны входная $A_1\sin\omega t$ и выходная $A_2\sin(\omega t+\varphi)$ гармонические функции.

В некоторых случаях в качестве типового воздействия выбирается единичная дельта-функция $\delta(t)=0$ при $t\neq 0$ и $\delta(t)=\infty$ при $t=0$, представляющая математическую идеализацию импульса бесконечно малой длительности.

Вопросы статики и динамики объектов рассматривают обязательно во взаимосвязи. Всестороннее их изучение, разработка инженерных методов анализа и синтеза систем управления являются важнейшими задачами для технологов и специалистов в области автоматизации.

4.6. Математические модели простейших объектов

Общие положения. Наиболее достоверная информация о поведении объекта при различных возмущениях может быть получена в результате натурных испытаний, но этот путь достаточно трудоемок, сложен, а иногда сопряжен с известным риском. Физические модели применяются при рассмотрении процессов, происходящих в простых объектах, для сложных используются математические модели, отражающие основные свойства объекта. При этом можно расчленять сложные объекты на простые элементы или заменять совокупность элементов одним.

Модель одноемкостного астатического объекта. На рис. 4.7, *а* показан гидравлический объект с регулирующим органом на подводе и насосом на отводе (стоке). При установившемся режиме $G_п=G_с=G_0$ уровень $H=H_0$

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

жидкости неизменен (нулевым индексом обычно обозначают расчетное, номинальное значение, поэтому вместо термина «отвод» применяется «сток»). При нарушении режима за счет стока или подвода расчетные расходы и уровень получают значения $G'_п$, $G'_с$, H'. Изменение уровня можно представить в виде

$$F\frac{d}{dt}(H'-H)=(G'_п-G_п)-(G'_с-G_с). \qquad (4.1)$$

В теории управления, как правило, используются не абсолютные значения величин, а их безразмерные от-

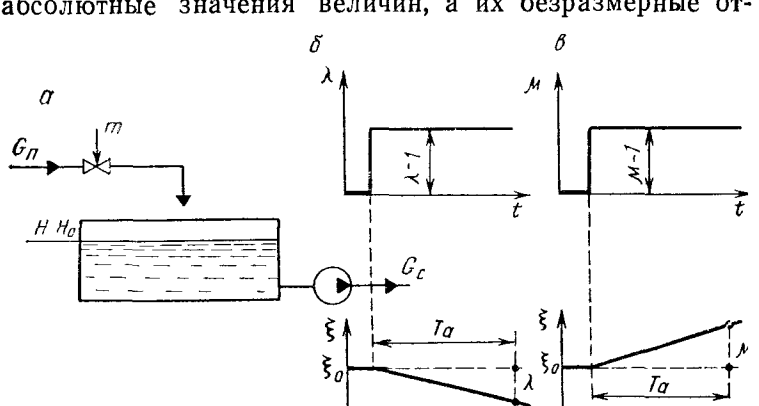


Рис 4.7

клонения от номинальных значений, что удобно при расчетах и проведении анализа. Введем обозначения: $\xi=(H'-H)/H_0$ — безразмерная регулируемая переменная; $\mu=(G'_п-G_п)/G_{max}$ — степень притока (регулирования); $\lambda=(G'_с-G_с)/G_{max}$ — степень стока (возмущения). В знаменателе относительных величин обычно находится известное, чаще номинальное или максимальное, значение параметра.

Преобразуем выражение (4.1), для чего разделим обе его части на G_{max}, а левую разделим и умножим на H_0, введя H_0 под знак дифференцирования:

$$\frac{FH_0}{G_{max}}\frac{d}{dt}\left(\frac{H'-H}{H_0}\right)=\frac{G'_п-G_п}{G_{max}}-\frac{G'_с-G_с}{G_{max}}.$$

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Используя безразмерные переменные и произведя замену $FH_0/\sigma_{max}=T_a$, получим

$$T_a \frac{d\xi}{dt} = \mu - \lambda, \text{ или } T_a\dot{\xi} = \mu - \lambda, \qquad (4.2)$$

где T_a — время разгона астатического объекта, в течение которого объект наполняется или опорожняется при максимальной нагрузке (разности притока и стока) с постоянной скоростью ($v=1/T_a$) изменения регулируемой переменной.

Уравнения (4.2) — дифференциальные уравнения для астатического объекта в канонической форме. В правой части выражений содержатся входные воздействия μ и λ, в левой — скорость $\dot{\xi}$ изменения выходной регулируемой величины. Разные знаки μ и λ указывают на разное влияние воздействий на изменение уровня. При $\mu=\lambda$ $T_a\dot{\xi}=0$ и $\xi=\text{const}$.

Выявим функциональную зависимость $\xi(t)$ от подвода и отвода раздельно, подвергнув объект единичным толчкам $\lambda=1$ и $\mu=1$.

Проинтегрируем (4.2):

$$\xi_1 = \int_0^t (\mu/T_a)\,dt = (1/T_a)\,\mu t + \xi_0;$$

$$\xi_2 = -\int_0^t (\lambda/T_a)\,dt = -(1/T_a)\,\lambda t + \xi_0.$$

Оба интеграла представляют собой линейные зависимости с начальным значением ξ_0 регулируемой переменной, их графики показаны на рис. 4.7, *б* и *в* (сравните с рис. 4.3). Если принять $t=T_a$, то $\Delta\xi=\mu$ или $\Delta\xi=-\lambda$, и время разгона может быть найдено как отрезок на оси абсцисс, численно соответствующий единичному значению нагрузки на притоке или стоке.

Модель одноемкостного статического объекта. Сделаем рассмотренный выше объект статическим, изменив схему подвода жидкости и обеспечив таким образом внутреннюю обратную связь (рис. 4.8, *а*). Наряду с известной $H=f(G_п, G_с)$ появляется функциональная зависимость $G_п=f_1(m)+f_2(H)$, где m — перемещение затвора регулирующего органа (можно предположить, что $\mu=(m'-m)/m_{max}$).

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Преобразуем исходное уравнение (4.1) с учетом того, что обратное влияние уровня жидкости на ее приток определится как $(G'_{\text{п}} - G_{\text{п}})/(H' - H) = \Delta G_{\text{п}}/\Delta H$ и при $\Delta H \to 0$ как $\partial G_{\text{п}}/\partial H$, а влияние m на $G_{\text{п}}$ выразится частной производной $\partial G_{\text{п}}/\partial m$. Очевидно, изменение притока с учетом $G_{\text{п}} = f(m, H)$ будет

$$G'_{\text{п}} - G_{\text{п}} = \frac{\partial G_{\text{п}}}{\partial m}(m' - m) + \frac{\partial G_{\text{п}}}{\partial H}(H' - H). \qquad (4.3)$$

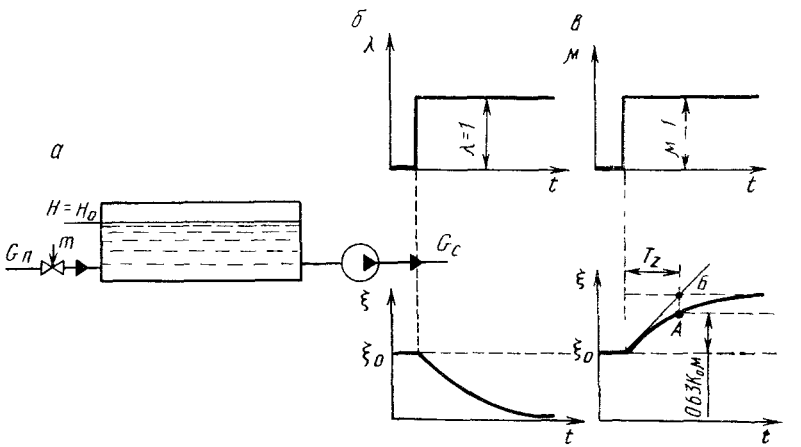


Рис. 4.8

Подставим (4.3) в (4.1) и, проведя преобразования методом, аналогичным описанному выше, получим:

$$\frac{FH_0}{G_{\max}}\,\frac{d}{dt}\,\frac{H' - H}{H_0} = \frac{\partial G_{\text{п}}}{\partial m}\,\frac{m_{\max}}{G_{\max}}\left(\frac{m' - m}{m_{\max}}\right) +$$

$$+ \frac{\partial G_{\text{п}}}{\partial H}\,\frac{H_0}{G_{\max}}\left(\frac{H' - H}{H_0}\right) - \frac{G'_{\text{с}} - G_{\text{с}}}{G_{\max}}.$$

Введем обозначения: $T_{\text{с}} = FH_0/G_{\max}$ и $-K_{\text{с}} = (\partial G_{\text{п}}/\partial H)(H_0/G_{\max})$. Приняв характеристику регулирующего органа линейной, т. е. $(\partial G_{\text{п}}/\partial m)(m_{\max}/G_{\max}) = 1$, найдем, что

$$T_{\text{с}}\dot{\xi} + K_{\text{с}}\xi = \mu - \lambda. \qquad (4.4)$$

Получено дифференциальное уравнение статического объекта с саморегулированием на подводе, в котором $T_{\text{с}}$ — время разгона статического объекта.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Структура (4.4) аналогична (4.2) за исключением $K_c\xi$, что связано с наличием саморегулирования. Величина K_c называется коэффициентом саморегулирования и показывает степень воздействия качественного параметра на количественный. Она может быть найдена из статических характеристик объекта. Самовыравнивание имеет место при $\partial G_п/\partial H<0$. Можно получить аналогичное (4.4) уравнение для случаев саморегулирования на стороне отвода и с обеих сторон. Тогда значения коэффициента саморегулирования будут соответственно

$$K_c = \frac{\partial G_c}{\partial H}\,\frac{H_0}{G_{max}};$$

$$K_c = \left(\frac{\partial G_c}{\partial H} - \frac{\partial G_п}{\partial H}\right)\frac{H_0}{G_{max}}.$$

Очевидно, если $K_c=0$, объект превращается в астатический. Следовательно, наличие или отсутствие внутренней главной обратной связи определяется знаком K_c ($K_c>0$ — объект статический, $K_c=0$ — астатический, $K_c<0$ — неустойчивый).

Для нахождения динамических характеристик объекта преобразуем выражение (4.4), разделив обе его части на K_c:

$$(T_c/K_c)\dot{\xi} + \xi = (\mu - \lambda)/K_c. \qquad (4.5)$$

Обозначим $T_z=T_c/K_c$, $K_0=1/K_c$ и введем в (4.5):

$$T_z\dot{\xi} + \xi = K_0(\mu - \lambda). \qquad (4.6)$$

Величина T_z называется динамической постоянной (постоянной времени), а K_0 — коэффициентом передачи объекта.

Проинтегрировав (4.6) при ступенчатых воздействиях раздельно, получим:

$$\xi_1 = K_0\mu(1 - e^{-t/T_z}) + \xi_0 \text{ и } \xi_2 = -K_0\lambda(1 - e^{-t/T_z}) + \xi_0.$$

Переходные функции $\xi(t)$, построенные по этим формулам, представляют собой экспоненциальные кривые (рис. 4.8, *б* и *в*). Характер кривых свидетельствует о том, что регулируемая величина в таком объекте меняется с переменной скоростью, приближаясь к некоторому постоянному значению. Это значение можно найти при $t\to\infty$ как $\xi_1^\infty=K_0\mu$ или $\xi_2^\infty=-K_0\lambda$.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Из уравнения (4.6) видно, что T_z и K_0 определяют физические свойства объекта автоматизации. Зная их, можно построить разгонную характеристику объекта и, наоборот, по экспериментально полученной временной кривой найти коэффициенты дифференциального уравнения. Экспонента обладает определенным аналитическим свойством — подкасательные в любой ее точке рав-

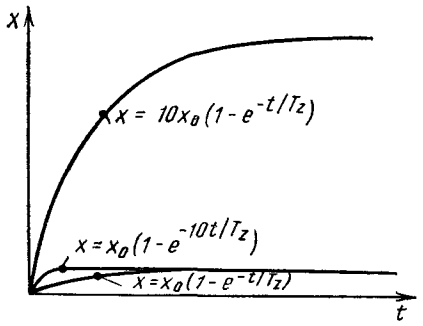


Рис. 4.9

ны друг другу и численно оказываются равными параметру экспоненты. В нашем конкретном случае в качестве параметра экспоненты выступает динамическая постоянная T_z. Не всегда можно точно провести касательную к экспоненте, поэтому рекомендуется следующий практический метод нахождения T_z. Приняв в уравнении экспоненты $t=T_z$, получим $\xi_1=K_0\mu(1-e^{-1})=0{,}63K_0\mu$. Отложив найденное значение, получим точку A, проведя из которой перпендикуляр до пересечения с асимптотой, найдем точку $Б$ пересечения касательной с асимптотой, т. е. T_z (рис. 4.8, *в*).

По физическому смыслу динамическая постоянная характеризует способность объекта накапливать или расходовать энергию, вещество или информацию (это понятие было введено чехословацким ученым А. Стодолой). Значения динамических постоянных приводятся в справочной литературе для большинства объектов автоматизации, например для тепловых объектов $T_z=\Sigma mc/(\Sigma kF)$, вращающегося ротора — $T_z=I\omega/M$, газгольдера — $T_z=pV/(GRT)$ и т. д. В этих формулах m—масса теплоносителя и элементов объекта, c — удельная теплоемкость, k — коэффициент теплопередачи, F — площадь поверхности теплообмена, I — момент инерции ротора, ω — уг-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ловая скорость вращения ротора, M — момент сопротивления вращению ротора, p — давление в газгольдере, V — его вместимость, R — газовая постоянная, T — температура.

Коэффициент передачи K_0 показывает, во сколько раз отклонение регулируемой величины в установившемся режиме превышает обусловившее это отклонение воздействие.

На рис. 4.9 показаны сравнительные динамические характеристики (кривые разгона), построенные при различных значениях T_z и K_0.

4.7. Управляемость объектов

Пользуясь переходной функцией, можно ориентировочно оценить степень трудности управления объектом. Чем труднее объект выводится из положения равновесия, тем труднее его возвратить в исходное положение.

Для оценки управляемости объекта применяют фактор $S=\tau/T_0=(\tau/T_z)\,(x_{max}/x_0)$, основные составляющие которого показаны на динамической характеристике (рис. 4.10) многоемкостного объекта. Значения запаздывания τ, динамической постоянной T_z и времени T_0, при котором достигается заданное значение регулируемой переменной x_0, определяются положением касательной, проведенной через точку перегиба $П$.

Из кривой разгона следует, что регулируемая величина практически бесконтрольно изменяется за время $t=2\tau$, после чего ее изменение происходит с постоянной скоростью. Только для объектов с быстрой реакцией, т. е. малыми τ и T_z, можно простыми средствами добиться высокого качества управления.

Ниже представлены значения S и соответствующая степень управляемости объекта:

S	Управляемость
0...0,1	Очень хорошо управляемый
0,1...0,2	Хорошо управляемый
0,2...0,4	Управляемый
0,4...0,8	Трудно управляемый
Более 0,8	Очень трудно управляемый

Большинство теплотехнических объектов с регулированием температуры и давления имеют $S=0{,}2...0{,}3$, у объектов же с сильно изменяющейся нагрузкой $S>0{,}3$. Улучшение их управляемости достигается за счет исклю-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

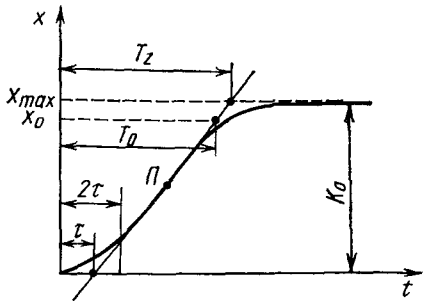


Рис. 4.10

чения элементов с аккумулирующим действием, уменьшения площади теплопередающих поверхностей, обеспечения постоянной скорости теплоносителя.

Итак, важнейшими характеристиками объекта автоматизации являются аккумулирующая способность, самовыравнивание, запаздывание, время разгона, динамическая постоянная, коэффициент передачи, управляемость, зная которые, можно найти математическую модель объекта и выявить его реакцию на различные возмущающие воздействия.

Глава 5. ТИПОВЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ АСР И АСУ

Автоматические системы и составляющие их элементы настолько разнообразны и многочисленны, что позволяют автоматизировать практически любые производственные процессы. Несмотря на это многообразие, существует методика их исследования, базирующаяся на анализе дифференциальных уравнений движения, единых для различных систем.

Общность методов теории автоматического управления является одним из примеров воплощения тезиса В. И. Ленина: «Единство природы обнаруживается в «поразительной аналогичности» дифференциальных уравнений, относящихся к разным областям явлений».*

5.1. Понятие о звене автоматической системы

Разделение автоматических систем на элементы по их функциональному назначению, по природе физических процессов или по конструктивным особенностям позволяет рассмотреть лишь конструктивную (функциональ-

* Ленин В. И. Материализм и эмпириокритицизм.— Полн. собр. соч., т. 18, с. 306.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ную) схему системы. При этом чаще решаются статические задачи, главным образом преобразования элементом одних физических величин в другие, когда достаточно знания коэффициентов передачи отдельных звеньев. Большое разнообразие элементов и сложность анализа динамических показателей привели к систематизации элементов по видам дифференциальных уравнений движения и общности характера соответствующих им переходных процессов. Такой подход позволил ограничить многообразие элементов, упростив определение динамических свойств любой автоматической системы.

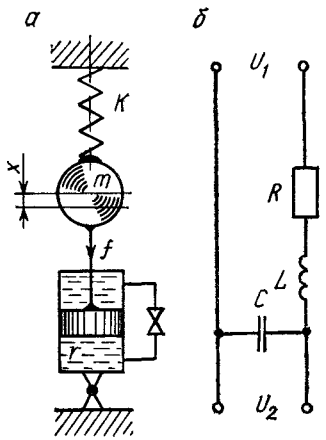


Рис. 5.1

Элементарным динамическим звеном автоматической системы называют элемент, обладающий одной степенью свободы, что позволяет описать его движение дифференциальным уравнением не выше второго порядка. Это уравнение определяет значение выходной величины в зависимости от входной во времени: $y=f(x, t)$. При этом считается, что на вход звена подается сигнал в виде стандартного возмущающего воздействия. Например, два элемента различной физической природы, механический — груз на пружине (рис. 5.1, *а*) и электрический — колебательный контур (рис. 5.1, *б*), описываются уравнениями второго порядка:

$$mx + r\dot{x} + kx = f \text{ и } LC\dot{U}_2 + RC\dot{U}_2 = U_1$$

(обозначения приведены на соответствующих схемах: r — вязкое трение, k — жесткость пружины, f — возмущающее усилие). Несмотря на различие в коэффициентах, структура уравнений одинакова, они описывают колебательное движение. Подобные математические модели у маятника и поршневого цилиндра, заполненного газом. Любую систему можно представить состоящей из про-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

стейших составных частей (звеньев), отображающих в целом динамические свойства всего автоматического устройства.

5.2. Основные типовые динамические звенья

В основу классификации звеньев положен порядок дифференциального уравнения. Существует около 15 разновидностей звеньев, из которых рассмотрим простейшие (в скобках приведены наиболее употребимые названия).

Усилительное (безынерционное, идеальное, пропорциональное, безъемкостное, первого порядка и т. п.) звено характеризуется мгновенной передачей сигнала со входа на выход, причем выходная величина не меняется во времени. Динамическое уравнение $y=Kx$ совпадает с уравнением статической характеристики, где K — коэффициент передачи. Примеры: рычаг, механическая передача (редуктор), потенциометр, электронный усилитель, трансформатор, воздушный и водяной клапаны и др.

Апериодическое (инерционное, статическое, емкостное, релаксационное, второго порядка и т. п.) звено трансформирует входную величину апериодически по экспоненциальному закону:

$$T_z\dot{y} + y = Kx.*$$

Примеры: термопара, магнитный усилитель, RC- и RL-контуры, газгольдер, тепловые объекты (помещения, воздухонагреватели, материалы, оборудование и др.). Математическая модель статического объекта, рассмотренного в предыдущей главе, аппроксимируется апериодическим звеном.

Колебательное (двухъемкостное) звено преобразует входной сигнал в сигнал колебательной формы:

$$T_2^2\ddot{y} + T_1\dot{y} + y = Kx.$$

Кроме приведенных в параграфе 5.1 примеров, можно назвать электродвигатель постоянного тока, поплавковый дифманометр, мембранный пневмоклапан и др.

---

* Далее в типовых математических моделях звеньев обозначение динамических постоянных T_z будет приводиться без «z».

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Интегрирующее (астатическое, нейтральное) звено преобразует входной сигнал в величину, пропорциональную интегралу от входной величины:

$$T\dot{y} = Kx.$$

Примеры: идеальные гидравлический двигатель и электродвигатель, электрические цепи с индуктивностью или емкостью и др. Кроме того, примером может служить астатический объект, рассмотренный в предыдущей главе.

Дифференцирующее (импульсное) звено формирует на выходе величину, пропорциональную скорости изменения величины на входе:

$$y = K\dot{x}.$$

Примеры: тахогенератор, демпфер в механических передачах, электрические контуры, включающие активные и индуктивные сопротивления, и др.

Запаздывающее звено характеризуется тем, что выходная величина повторяет входную, но с запаздыванием τ:

$$y(t) = x(t - \tau).$$

Примеры: большинство транспортных устройств, включая трубопроводы.

5.3. Операционный метод в автоматике

Динамические свойства АСР и АСУ обычно описывают линейными дифференциальными уравнениями, связывающими входной параметр системы (звена) с выходным. Общая форма записи линейного дифференциального уравнения связи системы с постоянными коэффициентами имеет вид

$$a_n \frac{d^n y}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} + \ldots + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y =$$

$$= b_m \frac{d^m x}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} x}{dt^{m-1}} + \ldots + b_1 \frac{dx}{dt} + b_0 x, \quad (5.1)$$

где x и y — соответственно входная и выходная величины; a и b — коэффициенты, зависящие от параметров системы (обычно $m \leqslant n$).

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

По результатам решения уравнения можно проанализировать свойства АСР или звеньев в переходном или установившемся режимах.

Чтобы упростить операции преобразования сложных дифференциальных уравнений, а также получить сокращенную запись, в теории автоматического управления широко применяется операционный метод. Метод возник, как система формальных операций над символом $p = d/dt$, где t — независимая переменная. Символическое умножение p на функцию $f(t)$ означает ее дифференцирование: $pf(t) = f'(t)$.

Если $f(0) = 0$, то

$$f(t) = \int_0^t f'(u)\,du = (1/p) f'(t) \text{ или } (1/p) f'(t) = \int_0^t f'(u)\,du,$$

т. е. умножение $1/p$ на функцию означает интегрирование последней. Такое символическое исчисление оказалось очень простым, экономичным. Метод математического анализа назван операционным (p — оператор) и получил чрезвычайно широкое распространение.

Суть методики определения функции $f(t)$ из уравнения, содержащего ее под знаками производных и интегралов, сводится к следующему: находят по известным правилам функцию $F(p)$ — так называемое изображение функции $f(t)$; получают вместо исходного операционное уравнение относительно $F(p)$, производя над ним более простые операции (вместо дифференцирования — умножение на p, интегрирования — деление на p и т. д.); решают алгебраически полученное уравнение; осуществляют обратный переход от найденного изображения к функции, которая является искомой.

В основу операционного метода положен известный метод интегральных преобразований Лапласа, при котором осуществляется операция перехода от оригинала к изображению $f(t) \overset{\circ}{=\!=} F(p)$ по формуле

$$F(p) = \int_0^\infty e^{-pt} f(t)\,dt,$$

где t — действительная переменная; $p = s + j\omega$ — комплексная переменная.

Таким образом, упрощение действий над интегрально-дифференциальными уравнениями происходит за счет

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Табл. 5.1. Оригиналы и изображения

$y(t)$	$F(p)$	$y(t)$	$F(p)$
$y(t)$	$1/p$	$\cos(\omega t)$	$p/(p^2+\omega^2)$
$e^{\alpha t}$	$1/(p-\alpha)$	$1-\cos(\omega t)$	$\omega^2/(p(p^2+\omega^2))$
$1-e^{-\alpha t}$	$\alpha/(p(p+\alpha))$	$t\cos(\alpha t)$	$(p^2-\alpha^2)/(p^2+\alpha^2)^2$
$te^{-\alpha t}$	$1/(p+\alpha)^2$	$\sin(\alpha t)/t$	$\operatorname{arctg}(\alpha/p)$
$\sin(\omega t)$	$\omega/(p^2+\omega^2)$	$(e^{\alpha t}-e^{\beta t})/t$	$\ln((p-\beta)/(p-\alpha))$

перевода операций в комплексную область, или пространство изображений. Основные формулы для перехода от оригинала к изображениям и обратно приведены в табл. 5.1.

Например, необходимо решить уравнение $\ddot{x}-3\dot{x}+2x=2e^{3x}$. Изображающее уравнение будет иметь вид

$$(p^2-3p+2)X(p)=2(p-3),$$

откуда

$$X(p)=\frac{2}{(p-3)(p^2-3p+2)}=\frac{2}{(p-3)(p-1)(p-2)}=$$
$$=\frac{1}{p-3}+\frac{1}{p-1}-\frac{2}{p-2}.$$

Переходя к оригиналу, получим:

$$x(t)=e^{3t}+e^{t}-2e^{2t}=e^{t}(e^{2t}-2e^{t}+1).$$

5.4. Символическая запись уравнений динамики

Использование операционного метода позволяет записать уравнение связи (5.1) при нулевых начальных условиях в виде:

$$a_n p^n y+a_{n-1}p^{n-1}y+\ldots+a_1 py+a_0 y=$$
$$=b_m p^m x+b_{m-1}p^{m-1}x+\ldots+b_1 px+b_0 x$$

или

$$Y(p)(a_n p^n+a_{n-1}p^{n-1}+\ldots+a_1 p+a_0)=$$
$$=X(p)(b_m p^m+b_{m-1}p^{m-1}+\ldots+b_1 p+b_0).$$

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

В динамике полученное выражение показывает зависимость изображений выходного сигнала от входного. Составим отношение

$$\frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{b_m p^m + \ldots + b_0}{a_n p^n + \ldots + a_0}$$

и, обозначив соответственно полиномы в числителе $Q(p)$ и знаменателе $D(p)$, получим

$$Y(p)/X(p) = Q(p)/D(p) = W(p).$$

Назовем передаточной функцией полученное отношение $W(p)$ изображения выходного сигнала к изображению входного, записанное при нулевых начальных условиях. Операционная форма записи и запись по Лапласу при нулевых начальных условиях совпадают, но так как последняя требует учета начальных условий, они должны быть в общем случае обязательно оговорены.

Передаточная функция, как особый вид записи уравнения движения, является фундаментальным понятием теории автоматического управления. В состав $Q(p)$ и $D(p)$ входят основные физические параметры звеньев в виде динамических постоянных и коэффициентов передачи. Определяющим фактором в статике является коэффициент передачи, в динамике — передаточная функция.

Если на вход звена подается гармоническое возмущение, то исследование динамики осуществляется частотными методами с использованием частотных характеристик основных типов: амплитудно-частотной (АЧХ), фазочастотной (ФЧХ), амплитудно-фазовой (АФХ), вещественной частотной (ВЧ) и мнимой частотной (МЧ). Для

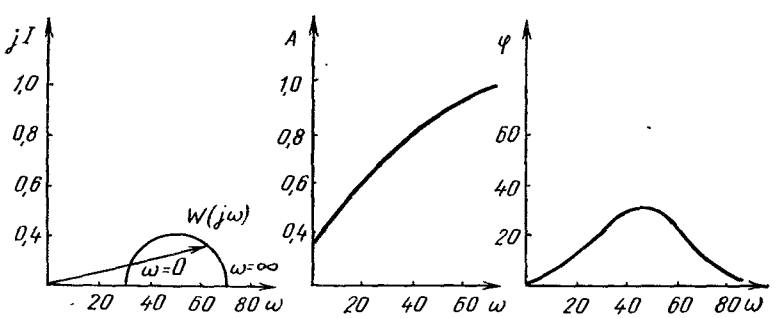
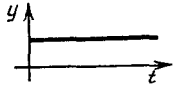
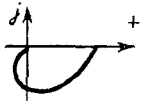
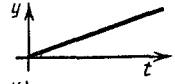
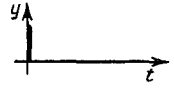
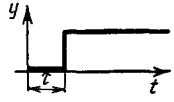
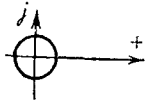


Рис. 5.2

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Табл. 5.2. **Динамические показатели типовых звеньев**

Звено	Уравнение звена	$W(p)$	$W(j\omega)$	Переходный процесс	АФХ
Усилительное	$y = Kx$	K	K		
Апериодическое (1 порядка)	$T\dot{y} + y = Kx$	$K/(Tp+1)$	$K/(Tj\omega+1)$		
Колебательное	$T_1\ddot{y}+T_2\dot{y}+y=Kx$	$K/(T_1^2p^2+T_2p+1)$	$K/(1-T_1^2\omega^2+T_2j\omega)$		
Интегрирующее	$\dot{y}=Kx$	K/p	$K/j\omega$		
Дифференцирующее (идеальное)	$y=K\dot{x}$	Kp	$Kj\omega$		
Запаздывающее	$y(t) = x(t-\tau)$	$Ke^{-\tau p}$	$Ke^{-\tau j\omega}$		

Электронная библиотека http://lgy.khstu.ru/

этого в уравнение связи делают подстановку $p=j\omega$, после чего получают комплексную передаточную функцию

$$W(j\omega) = Q(j\omega)/D(j\omega).$$

Эту функцию можно представить в декартовых координатах как геометрическую сумму вещественной $R(\omega)$ и мнимой $jI(\omega)$ частей $W(j\omega) = A(\omega)e^{j\varphi(\omega)}$ или в полярных как $W(j\omega) = A(\omega)e^{j\varphi(\omega)}$, где $A(\omega)$ — модуль, $\varphi(\omega)$ — фаза. При этом $|W| = A(\omega) = \sqrt{R^2(\omega) + I^2(\omega)}$ и $\varphi(\omega) = \operatorname{arctg}(I(\omega)/R(\omega))$ — соответственно амплитудно-частотная и фазочастотная характеристики.

Рассмотрим на примере, как получают АЧХ, ФЧХ и АФХ звена с передаточной функцией $W(p) = K(1+Tp)/(1+KTp)$ при $K=0{,}25$, $T=0{,}04$ с.

Заменив p на $j\omega$, получим:

$$W(j\omega) = \frac{K(1+j\omega T)}{1+j\omega KT} = \frac{K+K^2\omega^2T^2}{1+\omega^2K^2T^2} - j\frac{\omega K^2T - K\omega T}{1+\omega^2K^2T^2} =$$

$$= R(\omega) + jI(\omega);\ A(\omega) = \sqrt{R^2(\omega) + I^2(\omega)} =$$

$$= K\sqrt{\frac{1+\omega^2T^2}{1+\omega^2K^2T^2}};$$

$$\varphi(\omega) = -\operatorname{arctg}\frac{I(\omega)}{R(\omega)} = -\operatorname{arctg}\frac{\omega KT - \omega T}{1+\omega^2K^2T^2}.$$

Подставив числовые значения K и T и вычислив характеристики, построим по результатам вычислений кривые $W(j\omega)$, $A(\omega)$ и $\varphi(\omega)$ (рис. 5.2). Задаваясь различными частотами сигналов, можно найти соответствующий отклик звена на возмущение. Из этих характеристик наиболее важной является АФХ, представляющая годограф вектора функции $W(j\omega)$, построенный в комплексной области при изменении частоты от 0 до ∞.

В табл. 5.2 представлены дифференциальные уравнения рассмотренных в параграфе 5.2 звеньев, передаточные функции, а также переходные процессы и АФХ.

5.5. Структурные схемы. Соединение звеньев

Для нахождения передаточной функции системы составляется и анализируется ее структурная схема, состоящая из отдельных звеньев. Структурной схемой АСР называется схема соединения звеньев, отражающая их передаточные функции и взаимные связи. Возможны три

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

основных типа соединения звеньев: последовательное, параллельное и при помощи обратных связей. Структурные схемы строятся по аналогии с блок-схемами: звенья — прямоугольники, связи — векторы, внутри прямоугольников указывается передаточная функция $W(p)$ или вид переходной функции.

Рассмотрим основные законы соединения звеньев.

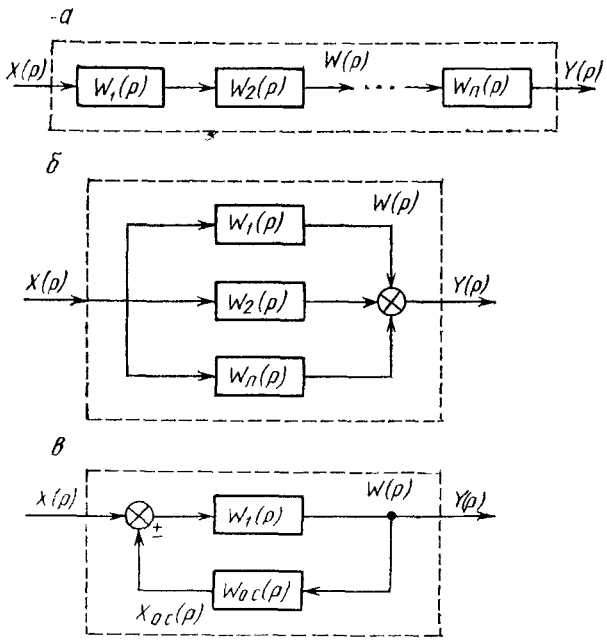


Рис. 5.3

1. Передаточная функция последовательно соединенных звеньев равна произведению передаточных функций этих звеньев (рис. 5.3, *а*):

$$W(p) = \prod_{i=1}^{n} W_i(p).$$

2. Передаточная функция параллельно соединенных звеньев равна алгебраической сумме передаточных функций этих звеньев (рис. 5.3, *б*):

$$W(p) = \sum_{i=1}^{n} W_i(p).$$

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

3. Передаточная функция цепи с обратной связью равна передаточной функции прямой цепи, деленной на сумму (разность) единицы и произведения передаточной функции прямой цепи и передаточной функции цепи обратной связи. При этом знак (+) соответствует ООС, знак (—) — ПОС (рис. 5.3, *в*):

$$W(p) = W_1/(1 \pm W_1(p)\, W_{\text{о.с}}(p)).$$

Независимо от сложности системы передаточные функции для замкнутой АСР можно привести к трем типам:

основная — $W_{\text{о}}(p) = Y(p)/X(p) = W(p)/(1 + W(p))$;

рассогласованная — $W_{\text{р}}(p) = \Delta X(p)/X(p) = 1/(1+W(p))$;

дополнительная — $W_{\text{д}}(p) = Y_i(p)/X(p) = W_{\text{о}}(p)/W_{\text{о.с}}(p)$, где $Y_i(p)$ — выходной сигнал любого звена, входящего в прямую цепь.

В общем случае при соединении любого числа звеньев передаточная функция АСР или АСУ может быть представлена в виде

$$W(p) = \frac{\prod_{i=1}^{\kappa} K_i \prod_{i=1}^{\mu} (T_i p \pm 1) \prod_{i=1}^{\eta} (T_i^2 p^2 \pm T_i p \pm 1)}{p_{\text{ч}} \prod_{i=1}^{\rho} (T_i p \pm 1) \prod_{i=1}^{\sigma} (T_i^2 p^2 \pm T_i p \pm 1)}.$$

Основные сведения о системах содержатся в знаменателе — характеристическом полиноме $D(p)$. Например, знак минус в составе этого оператора свидетельствует о неустойчивости апериодического и колебательного звеньев с передаточными функциями $W(p) = 1/(Tp—1)$ и $W(p) = 1/(T_1^2 p^2 — T_2 p + 1)$. Подбором определенных звеньев, обратных связей и соединений в ходе синтеза структурных схем можно предварительно оценить устойчивость системы.

5.6. Передаточные функции типовых объектов

Многочисленные объекты автоматического управления принято классифицировать по основным видам энергии и динамическим свойствам на первичные двигатели (турбины, ДВС, электродвигатели, гидротурбины и др.),

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Табл. 5.3. **Передаточные функции некоторых объектов автоматизации**

Объект	$W(p)$	Объект	$W(p)$
Насос радиальный	$K/(Tp+1)$	Помещение	$Ke^{-p\tau}/((T_1p+1)(T_2p+1))$
Компрессор	$K/(T_1^2p^2+T_2p+1)$	Радиатор, конвектор	$K/(Tp+1)$
Вентилятор	$K/(Tp+1)$	Отопительная панель	$Ke^{-p\tau}/(Tp+1)$
Элеватор (струйный насос)	K	СКВ	$Ke^{-p\tau}/(Tp+1)$
Электродвигатель постоянного тока	$K/(p(T_1p+1)(T_2p+1))$	Газгольдер	$K/(Tp+1)$
Электродвигатель переменного тока	$(2\omega/u)(1/(Tp+1))$	Нагревательная печь	$K/((T_1p+1)(T_2p+1))$
Турбина паровая	$K/((T_1p+1)(T_2p+1))$	Камера увлажнения	$K/(T_1^2p^2+T_2p+1)$
Дизель	$K/(Tp+1)$	Калорифер	$K/(T_1^2p^2+T_2p+1)$
Камера сгорания	$Ke^{-p\tau}/(Tp+1)$	Бак с электроподогревом	$K/(Tp+1)$

тепловые объекты (котлы, бойлеры, печи, сушила, холодильники, здания и т. п.), химические и термохимические объекты, электрические (генераторы, электролинии, электромуфты), гидравлические и пневматические (емкости, насосы, гидроприводы, гидромашины), ядерной энергетики, механические и движущиеся объекты.

Для большинства из перечисленных объектов составлены канонические уравнения, найдены передаточные функции. Остановимся на некоторых объектах, получивших применение в системах ТГВ (табл. 5.3). В таблице представлены довольно простые передаточные функции. Дифференциальные уравнения сложных линейных объектов, в особенности тепловых и химических, содержат производные в правой части. Объекты с распределенными параметрами описываются уравнениями в частных производных.

Для облегчения решения либо описывают сложные объекты приближенными дифференциальными уравнениями, либо применяют наиболее распространенный спо-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

соб — заменяют сложный объект соединением простых звеньев. Например, многоемкостный объект часто представляют в виде последовательного соединения апериодического и запаздывающего звеньев. Можно искусственно снижать порядок дифференциального уравнения, но при этом существенно возрастает ошибка результата.

Более правильно вопросы упрощенного представления динамических характеристик можно решить сравнением расчетных и экспериментальных данных.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Раздел III. ТЕХНИКА И СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ

Глава 6. ИЗМЕРЕНИЕ И КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Чтобы судить о поведении того или иного объекта управления, необходимо иметь сведения о количественных и качественных характеристиках технологических процессов. Эти сведения могут поступать в виде информации человеку для принятия соответствующих решений (подсистемы контроля и сигнализации), а также быть использованы и без его участия (подсистемы защиты, блокировки, управления и регулирования) автоматическими устройствами.

С процесса измерения начинаются простые, а подчас и очень сложные процессы в автоматизированных системах, и от того, с какой точностью измерена исходная величина, зависит результат дальнейшего преобразования в последующих элементах системы.

6.1. Классификация измеряемых величин

1. Тепловые — температура (исключая температуру поверхностей), теплоемкость, энтальпия, теплота сгорания.

2. Силовые — сила, момент, давление (разрежение), напряжение (механическое).

3. Скоростные — скорость, ускорение, расход.

4. Физические — масса, плотность, влажность, влагосодержание, вязкость; структурные — твердость, пластичность, хрупкость.

5. Геометрические — положение тела, размер, форма, уровень.

6. Радиационные — интенсивность теплового, ядерного, акустического, электромагнитного излучения, фотометрические величины (цвет, блеск), параметры волновых процессов.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

7. Временны́е — промежуток, частота.

8. Электрические — напряжение (ЭДС), ток, сопротивление, проводимость, индуктивность, емкость.

9. Величины, характеризующие химический состав, не перечисляются ввиду многообразия.

В соответствии с классификацией формируются группы приборов и датчиков для измерения соответствующих величин.

6.2. Принципы и методы измерения (контроля)

Под *измерением* понимают определение числового соотношения между измеряемой величиной и некоторым ее значением, принятым за единицу сравнения (эталон). При прямых измерениях величину x и результат ее измерения y находят из опытных данных и выражают в одних единицах, $x=y$. При косвенных измерениях искомая величина y функционально связана со значениями величин, измеряемых прямыми способами: $y=f(x_1, x_2, ..., x_n)$. Примерами косвенных измерений могут служить измерения средней скорости потока пневмометрической трубкой и расхода жидкости или газа с помощью сужающего устройства, когда измеряется перепад давления.

Под *принципом измерения* понимают совокупность физических явлений, на которых основаны измерения, например упоминавшийся способ измерения расхода по перепаду давлений. Средства измерений — меры, измерительные приборы, устройства и преобразователи.

Метод измерений — совокупность принципов и средств измерений. Три основные метода измерения: непосредственной оценки, сравнения с мерой (компенсационный) и нулевой. Наиболее распространен первый, когда значение измеряемой величины определяют по отсчетному устройству прибора. Во втором случае измеряемую величину сравнивают с мерой, например ЭДС термопары с известной ЭДС нормального элемента. Эффект нулевого метода заключается в уравновешивании измеряемой величины и известной. Он используется в мостовых схемах измерений.

В зависимости от расстояния между местом измерения и показывающим устройством измерения могут быть локальными, или местными, дистанционными и телеизмерениями.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Под *точностью измерения* понимают степень соответствия результата измерения истинному значению измеряемой величины (принятому за эталон). Различают лабораторные (точные) и технические измерения.

Характер протекания во времени технологических процессов может оцениваться периодическим и непрерывным измерениями, в последнем случае чаще всего пользуются записывающими измерительными устройствами.

Пассивный контроль параметров обычно производят по окончании технологического процесса на соответствие заданным значениям, при активном контроле полученные данные немедленно используются в ходе управления режимом соответствующего объекта. В зависимости от числа измеряемых величин методы могут быть подразделены на единичные и множественные.

6.3. Точность и погрешности измерений

Как бы ни были совершенны методы и средства измерения, показание $y(t)$ прибора всегда будет отличаться от истинного значения $A(t)$ измеряемого параметра (рис. 6.1).

Погрешностью называется разность между измеренным значением величины и ее истинным значением, т. е. $\Delta y(t) = y(t) - A(t)$. В данном случае погрешность абсолютная, поправкой называют значение $-\Delta y(t) = A(t) - y(t)$. При изменении истинного значения $A(t)$ по линейному закону значения $y(t)$ в силу влияния погрешностей могут быть и больше, и меньше истинных значений. Очевидно, есть такие максимально допустимые погрешности $\pm y_{max}$, в пределах которых система измерения (контроля) может считаться технически приемлемой.

Относительная погрешность выражается отношением $\varepsilon = \frac{\Delta y(t)}{A(t)}$. При $\Delta y(t) \ll y(t)$

$$\varepsilon = \frac{\Delta y(t)}{y(t) - \Delta y(t)} = \frac{\Delta y(t)}{y(t)\left(1 - \frac{\Delta y(t)}{y(t)}\right)} \approx \frac{\Delta y(t)}{y(t)},$$

что упрощает методику измерения.

Приведенная относительная погрешность определяется в зависимости от используемого при измерении кон-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

кретного прибора с верхним пределом измерений N: $\xi = \Delta y(t)/N$. Класс точности K численно равен наибольшей приведенной относительной погрешности, выраженной в процентах. Например, манометр с диапазоном измерения 100 кПа и абсолютной погрешностью по всей шкале 2,5 кПа будет иметь $\xi = 2{,}5\%$ и соответственно $K = 2{,}5$. Класс точности указывают на шкале прибора обычно в окружности, выбирая из ряда (1; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0).

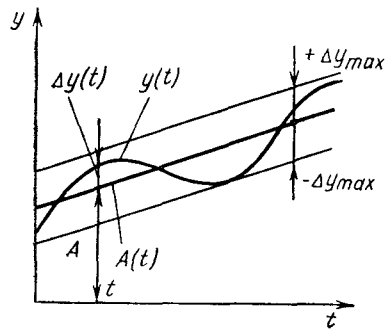


Рис. 6.1

Нормальные условия измерения соответствуют состоянию, при котором возможность воздействия возмущающих факторов на процесс измерения минимальна. В этом случае погрешности называют основными. При отклонении условий от нормальных (например, $p_б \neq 101$ кПа (760 мм рт. ст.), $\theta \neq 20$ °С и т. п.) появляются дополнительные погрешности, которые в зависимости от повторяемости подразделяют на систематические и случайные.

Систематические погрешности возникают по причинам постоянным или меняющимся по известной закономерности. Основные причины, вызывающие эти погрешности,— неправильная установка приборов, дефекты градуировки, влияние постоянных воздействий внешней среды (магнитные поля, вибрация) и т. п. Систематическая ошибка присутствует во всей серии измерений, ее значение постоянно или известен закон ее возрастания (убывания).

Случайными называются погрешности, неопределенные по природе возникновения и значению. Это может быть параллакс при наблюдении, трение, появление зазоров (люфтов), изменение условий внешней среды (известны случаи кавитации насосов в грозу) и т. д.

Грубые погрешности измерения (промахи) возникают вследствие субъективных причин, чаще всего невнимательности экспериментаторов.

Особыми видами погрешностей являются методические, появляющиеся в результате несовершенства ме-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

тода измерения, и инструментальные, являющиеся следствием конструктивных недостатков средств измерения.

Оценка и учет погрешностей обычно производятся на базе методов теории вероятностей и математической статистики. Как правило, истинное значение измеряемой величины остается неизвестным и вместо него принимается некоторое среднее арифметическое значение, которое при неограниченно большом числе наблюдений называют математическим ожиданием, т. е. $(1/n)\sum_{i=1}^{n} x_i = \bar{x}$. После этого находят случайные отклонения от среднего значения $\Delta x_1 = x_1 - \bar{x}$, $\Delta x_2 = x_2 - \bar{x}$, ..., $\Delta x_n = x_n - \bar{x}$ и определяют точность результата измерения по среднему квадратическому отклонению

$$\sigma = \rho \sqrt{(1/(n(n-1)))\sum_{i=1}^{n} \Delta x_i^2}\,.$$

Коэффициент ρ можно определить в зависимости от числа измерений:

n—1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ρ	1	0,816	0,765	0,741	0,727	0,718	0,711	0,706	0,703	0,7

Доверительный интервал, за пределы которого с вероятностью 0,683 (принят нормальный закон распределения погрешностей) не выйдут погрешности, определится, как $x = \bar{x} \pm \sigma$.

Средние значения приведенных основных погрешностей для теплотехнических измерительных приборов составляют $\pm(1...2{,}5)\%$ у технических, $\pm(0{,}6...1)\%$ — контрольных, $\pm 0{,}6\%$ — лабораторных, образцовых и эталонных.

6.4. Классификация измерительной аппаратуры и датчиков

Измерительным прибором называют средство измерений, вырабатывающее информационный сигнал в форме, доступной для восприятия наблюдателем — человеком. Направленность сигнала — от объекта (*ОУ*) к оператору (*Оп*) (рис. 6.2). Главным элементом измерительного прибора является первичный измерительный пре-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

образователь, или датчик, часто называемый первичным прибором. Для передачи, обработки, хранения информации применяют промежуточные преобразователи, или вторичные приборы (ВП).

Измерительный прибор, показания которого отражают непрерывную функцию измеряемой величины, называют

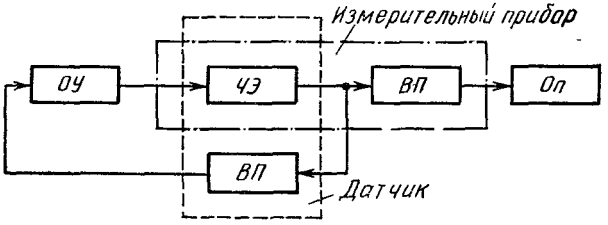


Рис. 6.2

аналоговым, а если показания представляют в дискретной форме — цифровым.

У показывающего прибора предусмотрена только возможность считывания показаний, у регистрирующего — регистрация, например запись на диаграмме (самопишущий) или печать на ленте или диаграмме (печатающий). Основой классификации является деление по роду измеряемой величины, но может быть подразделение по характеру использования — оперативные и учетные, условиям работы — стационарные и переносные, габаритам — нормальные, малогабаритные и миниатюрные, принципу действия — механические, химические, радиоактивные и т. д.

При автоматическом управлении сигнал от чувствительного элемента (ЧЭ) — части датчика, находящегося под непосредственным воздействием измеряемой величины, должен поступать в форме, удобной для использования в каналах АСР или АСУ.

Датчики классифицируют также по измеряемой входной величине, но более важной характеристикой является выходная величина, в которую преобразуется входная. Несмотря на большое число измеряемых величин, используется относительно небольшая группа выходных сигналов: механические (перемещение или усилие), электрические (ЭДС, напряжение, сила тока), временны́е (времяимпульсная, частотная, кодово-импульсная модуляции сигналов).

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Датчики с электрическим выходным сигналом принято разделять на параметрические и генераторные. Первые преобразуют входную величину в изменение параметров (сопротивление, емкость и т. п.) электрической цепи, в которую они включены, вторые — в электродвижущую силу. Соответствующими примерами могут служить термосопротивление и термоэлектрический термометр (термопара). Генераторный датчик обладает более слабым выходным сигналом.

6.5. Характеристики датчиков

Обобщенные характеристики датчиков принято разделять на статические, динамические и эксплуатационные.

Основным показателем датчика, характеризующим его статическую точность, является *чувствительность,* под которой понимают отношение изменения выходной величины y, или его приращения Δy, к соответствующему изменению входной x, или Δx, т. е.

$$S = \frac{y}{x} = \frac{\Delta y}{\Delta x} \approx \frac{dy}{dx}.$$

Порог чувствительности, или *разрешающая способность,* — наименьшее Δx, способное вызвать реакцию прибора или датчика. Важную роль играет мощность входного и выходного сигналов.

Чувствительность датчика зависит от вида его статической характеристики, которой является аналитически или графически выраженная зависимость выходной величины от входной. Желательно, чтобы характеристика была линейной, непрерывной и без гистерезиса (с однозначным выходным сигналом). У датчиков с линейной характеристикой (выходной сигнал Δy) чувствительность постоянна во всем диапазоне измерений, что дает возможность делать шкалу прибора равномерной (на рис. 6.3: *1* — характеристика проволочного терморезистора, *2* — полупроводникового с переменным выходным сигналом Δy_1 и Δy_2).

Большое значение имеет *динамическая характеристика* датчика — зависимость выходного сигнала от входного во времени, особенно при измерениях в нестационарных условиях. Инерционность датчика — важнейшая динамическая характеристика, о которой судят по дина-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

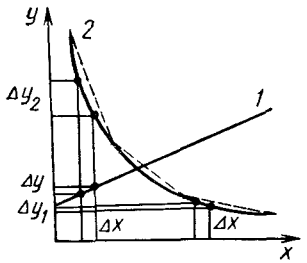


Рис. 6.3

мической постоянной T_z и времени запаздывания τ. По динамическим свойствам датчики геплотехнических процессов обычно относят к апериодическим и колебательным звеньям первого и более высоких порядков.

Важнейшие эксплуатационные требования включают необходимость несложной, надежной, недорогой и удобной конструкции, взаимозаменяемости, четкого контакта с объектом или средой и отсутствия обратного влияния датчика на объект. Нормальными условиями эксплуатации принято считать температуру внешней среды (20±5) °С, атмосферное давление (760±20) мм рт. ст., влажность (60±20) % при отсутствии вибрации, электрических и магнитных полей.

6.6. Государственная система промышленных приборов и средств автоматизации

Многообразие технологических производственных процессов, алгоритмов их функционирования и управления, особенности эксплуатации определяют и разнообразие технических средств автоматизации.

Организационно-технической базой для разработки и совершенствования автоматизированных систем управления является государственная система промышленных приборов (ГСП), созданная на единых системно-технических принципах упорядочения, унификации и взаимозаменяемости методов и средств автоматики, построенная на основе принципа действия приборов. ГСП определяет техническую политику автоматизации данной отрасли, принципы новых разработок устройств автоматизации с целью повышения надежности и реализации вычислительной техники. В настоящее время выпускается более 2000 типов приборов и средств автоматики со стандартными параметрами сигналов связи, источниками питания, присоединительными размерами, нормированием условий эксплуатации и т. п.

ГСП классифицирует устройства автоматики по функциональному назначению на: измерительные преобразо-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ватели (датчики) и измерительные системы, устройства центральной части и исполнительные устройства.

Первая группа служит для информации о поведении объекта управления, вторая — для преобразования, передачи, обработки и хранения информации, третья — для использования информации, формирования управляющего воздействия на объект.

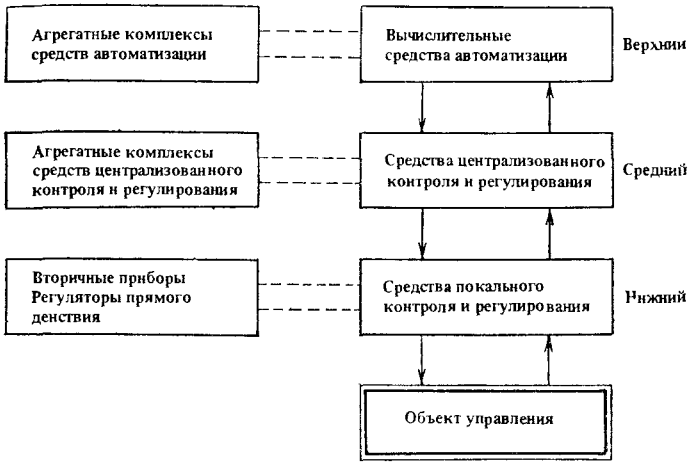


Рис. 6.4

В зависимости от сложности выполняемой задачи устройства центральной части классифицируют по трем уровням: нижнему, среднему и верхнему (рис. 6.4). Средства нижнего уровня используют для локального регулирования отдельных параметров и проектирования одноконтурных систем контроля, среднего уровня — для централизованного контроля и регулирования, для построения АСУ ТП. Средства верхнего уровня включают вычислительные средства автоматических систем и позволяют осуществлять сложные алгоритмы управления.

Глава 7. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ В СИСТЕМАХ ТГВ

Построение данной главы соответствует материалам лабораторных практикумов по общетехническим и специальным дисциплинам, в которых изложены принципы пользования основными приборами для теплотехнических и гидроаэродинамических измерений.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

7.1. Датчики температуры

Датчики с механическими выходными величинами. Жидкостные термометры стеклянные в основном используют как показывающие приборы местного действия при интервале температур от —200 до +750 °С. Термометрическими жидкостями являются ртуть, толуол, этиловый спирт, керосин, эфир, ацетон, пентан и т. д. В качестве датчиков применяют главным образом ртутные термометры с преобразованием механического перемещения в электрический сигнал — электроконтактные термометры, ртуть используют в качестве подвижного контакта. Вторым контактом может быть вольфрамовая нить, впаянная или опускаемая в капилляр термометра (рис. 7.1, *а* и *б*). В последнем случае она иногда снабжается задающим винтовым устройством. Сила электрического тока, проходящего через контакты, не должна превышать 0,5 мА при напряжении не более 0,3 В.

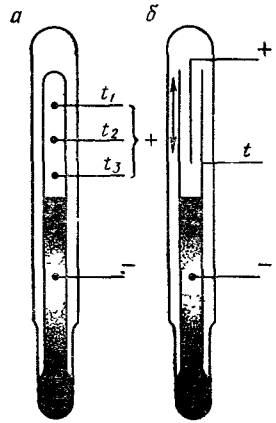


Рис. 7.1

В манометрических термометрах используется объемное расширение рабочего вещества в герметичной термосистеме, состоящей из термобаллона (жезла) *3*, капилляра *2* и манометрического преобразователя *1*—трубчатой пружины, сильфона и т. п. (рис. 7.2). В зависимости от свойств заполнителя эти термометры разделяются на газовые (азот), конденсационные или парожидкостные (ацетон, хладон-22, хлорметил, пропилен) и жидкостные (метанксилол, керосин, силиконовые жидкости и т. п.). Пределы измерения приборов составляют —150...+600 °С; —50...+300 °С; —150...+300 °С при соответственной длине капилляров 60, 25, 10 м. К этой группе можно отнести датчики с твердым и упругим заполнителями — пастами на основе воска, церезином и рядом других специальных материалов. Например, сильфонные датчики с такими заполнителями широко используются в комнатных терморегуляторах.

Принцип действия биметаллических и дилатометрических датчиков основан на эффекте

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

совместного линейного расширения двух разнородных соединенных вместе металлов. В качестве одного (пассивного) металла обычно используют инвар (36% Ni+64% Fe), другого (активного) — латунь, медь, сталь, хромомолибден. Их коэффициенты линейного расширения отличаются примерно в 20 раз. Слои термобиметаллической тонколистовой двухслойной ленты соединяются контактной сваркой. Из ленты делают пластины (рис. 7.3, *а*), плоские (рис. 7.3, *б*) и пространственные (рис. 7.3, *в*) спирали, которые с увеличением температуры деформируются: загибаются или закручиваются в сторону материала с меньшим коэффициентом α.

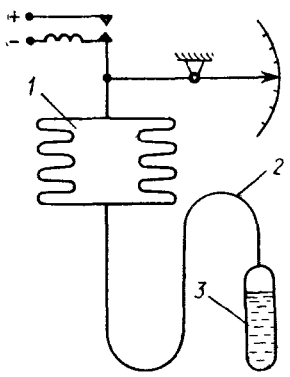


Рис. 7.2

Дилатометрические термометры представляют собой термосистему — стержень (пассивный материал) *П* в трубе (активный) *А* с продольным линейным перемещением относительно друг друга (рис. 7.3, *г*). Оба вида термометров применяются очень широко, особенно биметаллические, при диапазоне темпера-

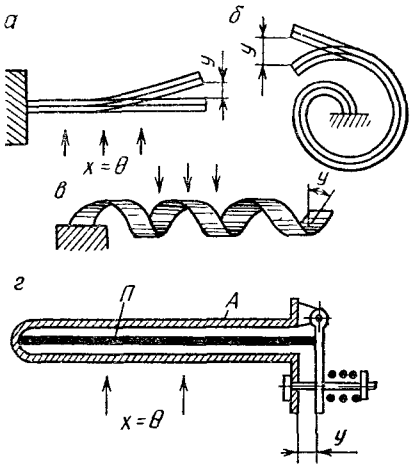


Рис. 7.3

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

тур 0...400 °С, а некоторые и до 1000 °С (например, дилатометры инвар—латунь Л62).

Датчики с электрическими выходными величинами. В основе принципа действия термоэлектрических термометров (термопар) лежит эффект Зеебека, открывшего механизм возникновения термоЭДС в цепи, составленной из двух различных проводников, например меди и платины, места соединений которых (сваркой, пайкой или скручиванием) имеют разную температуру T_0 и T_1. Чем больше разность $T_1—T_0$, тем больше термоЭДС, но функциональная зависимость $e(T_0, T_1)=f(T_1)—f(T_0)$ является неопределенной. Поэтому одну температуру принимают постоянной, термостатируя один из спаев, например при $T_0=\text{const}$. Термостатируемый спай называют свободным или холодным, спай, помещаемый в измеряемую среду, — рабочим или горячим. Положительным считают электрод, по которому ток течет от рабочего спая к свободному. Диаметр проволоки электродов из драгоценных металлов и сплавов (табл. 7.1) составляет 0,5 мм, прочих — 1,2...3,2 мм. Конструкция стандартного термоэлектрического термометра состоит из электродов с изоляцией из фарфоровых трубок или бус, помещенных в защитный трубчатый чехол (стальной, керамический, кварцевый) с головкой, имеющей электрозажимы. Рабочий спай может быть приварен или припаян к чехлу для лучшего теплового контакта и уменьшения инерционности.

Электроизмерительный прибор может быть присоединен к свободному концу термопары (рис. 7.4, *а*) или к термоэлектроду (рис. 7.4, *б*). Включение соединительного проводника (показан пунктиром) не сказывается на термоЭДС, если точки соединения *1* и *2* имеют одинаковую температуру. Обычно термоЭДС сравнительно невелика и даже при измерении высоких температур не превышает 70 мВ.

В терморезисторах (термометрах сопротивления) используется известное явление изменения электрического сопротивления проводника или полупроводника со сменой температуры. При этом характер изменения сопротивления у проволочных терморезисторов подчиняется закономерности $R_\theta=R_0(1+a\theta+b\theta^2)$ для платины и $R_\theta=R_0(1+\alpha\theta)$ для чистой меди, где R_0— сопротивление при 20 °С; a, b, α — постоянные, $°C^{-1}$.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Табл. 7.1 **Состав тэрмоэлектродов**

Термоэлектрод	Состав	Удельное сопротивление, Ом·мм²/м
Хромель	90% Ni+10% Cr	0,7
Копель	56% Cu+44% Ni	0,49
Алюмель	95% Ni+5% (Al+Si+Mn)	0,34
Платинородий	90% Pt+10% Rh	0,19
Платиноиридий	90% Pt+10% Ir	0,01
Манганин	84% Cu+13% Mn +2%Ni+1% Fe	0,42
Константан	60% Cu+40% Ni	0,475
Нихром	80% Ni+20% Cr	1

Обычно R_0 стандартизовано: для меди — 53 и 100 Ом, для платины — 10, 46 и 100 Ом.

Полупроводниковые терморезисторы, или термисторы (смеси окислов некоторых металлов, например MnO_2, Cu_2O_3, Fe_2O_3, NiO, VO_2, спрессованные при высокой температуре), уменьшают свое сопротивление при повышении температуры (см. рис. 7.3, *а*). Эта закономерность имеет вид:

$$R_\theta = R_0 e^{B(1/T - 1/T_0)} \approx R_0 (1 - B/T_0),$$

где B — константа материала; T — температура термистора, К.

Позисторы — термисторы с положительным температурным коэффициентом. Конструктивно проволочные терморезисторы представляют собой бифилярную (двойную) намотку соответствующей проволоки на каркас — изолятор из различных материалов (стекло, фарфор, текстолит) и различных поперечных сечений (круглые, плоские, Х-образные), который помещают в защитный трубчатый чехол, похожий на чехол термопары (рис. 7.5). Полупроводниковые терморезисторы по внешнему виду ничем не отличаются от обычных стандартных резисторов, применяемых в электрорадиотехнике. В качестве датчиков температуры используются также полупроводниковые термодиоды Д7А-Д7Ж, термотранзисторы МП40, П14, Д237Г, варисторы, тиристоры, семисторы, у которых электронно-дырочная проводимость зависит от температуры.

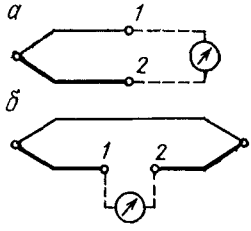


Рис. 7.4

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

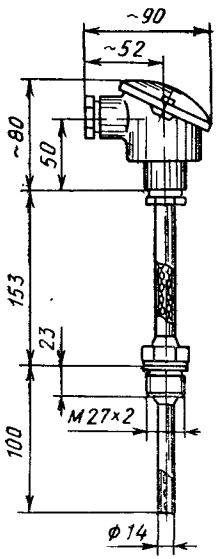


Рис. 7.5

Датчики температуры бесконтактные. Их действие основано на использовании зависимости интенсивности и спектрального состава излучения от температуры излучающего тела. Примерами применения могут служить измерение высокой температуры в топках теплогенераторов, печей, измерение температуры поверхностей нагревательных приборов, ограждений, определение результирующей температуры в помещении и т. д.

Основные методы базируются на измерении яркостной, радиационной и цветовой температур. Датчики включают оптическую систему и приемник излучения, тип которого определяется диапазоном измеряемых температур (длиной волны излучения). На рис. 7.6 показана схема радиационного пирометра. Лучистый поток от тела *1* через объектив *2* фокусируется на термобатарее *3*, состоящей из лепестковых термопар, работающей в комплекте с милливольтметром *4*, градуированным по температуре. Для определения суммарного эффекта влияния температуры воздуха и радиационной температуры окружающих поверхностей применяют шаровой термометр, состоящий из термодатчика (термометр, терморезистор или термопара), помещенного внутри тонкостенного полого медного шара диаметром 152 мм, окрашенного изнутри и снаружи черной матовой краской. В последнее время широко используются приборы дистанционного теплового контроля (тепловизоры), позволяющие оперативно определять поля температур на поверхностях нагретых пред-

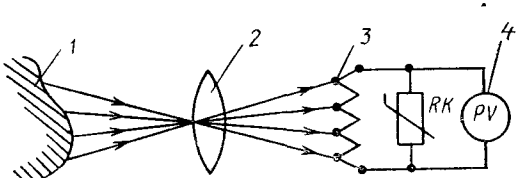


Рис. 7.6

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

метов (ПТК-1 (Киев); Термовизион 780, 782 фирмы «AGA» (Швеция) и др.). Близки по принципу действия к рассмотренным актинометры, служащие для измерения интенсивности тепловой радиации.

7.2. Датчики влажности газов (воздуха)

Датчики и приборы для измерения влажности воздуха и газов называют гигрометрами или гумидостатами, для измерения влажности тел в других агрегатных состояниях — влагомерами. Основные затруднения при измерении и регулировании влажности связаны с ее функциональной зависимостью от температуры и парциального давления водяных паров. Это особенно сказывается при связанном регулировании важнейших технологических параметров в СКВ, вентиляционных, сушильных и холодильных установках. Серьезные проблемы возникают при измерении влажности в условиях отрицательных температур, что вызвано очень низкой упругостью водяного пара, и при контроле и регулировании влажности паровоздушной смеси или газов с высокой температурой, например в пищевой промышленности, промышленных сушилках, при контроле влажности дымовых газов и т. д.

Среди многочисленных методов измерения влажности практическое применение получили: психрометрический — по разности температур; точки росы — по началу конденсации водяного пара; электролитический; сорбционный, основанный на переменных свойствах гигроскопических тел; методы полного поглощения, конденсационный, диффузионный; диэлькометрический (например, с использованием излучений сверхвысоких частот (СВЧ)); поглощения инфракрасных, ультрафиолетовых, радиоактивных излучений.

Первые два метода связаны с использованием датчиков температуры для измерения влажности. Наибольший интерес представляют электрические психрометры, схемы которых определяются видом измеряемой величины (относительная или абсолютная влажность) и типом применяемого датчика (термоконтакторы, терморезисторы и т. п.).

Метод точки росы, ставший одним из основных производственных методов контроля влажности, позволяет измерять ее при любых давлениях датчиками температуры. Принцип действия других приборов основан на методе конденсации водяного пара на плоской поверхности

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

(обычно металлического) полированного зеркальца, которое охлаждается при постоянной температуре в атмосфере влажного газа проточной водой или специальными холодильниками, например термохолодильниками. Луч света от источника *1* отражается зеркальцем *2* и воспринимается фотоэлементом *3*, включенным в измерительно-регулирующую цепь. При запотевании зеркальца с из-

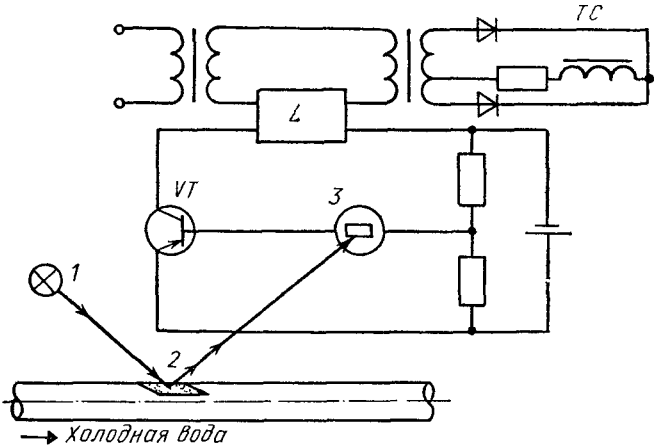


Рис. 7.7

менением φ интенсивность облучения фотоэлемента меняется (рис. 7.7). При этом транзисторный усилитель *VT* изменяет силу тока в обмотке магнитного усилителя *L*, управляющего терморегулятором *TC* температуры зеркальца, измеряемой термопарой.

Действие сорбционных гигрометров деформационного типа основано на изменении упругости и геометрических размеров некоторых тел. К наиболее распространенным датчикам относится волосной, чувствительным элементом которого служит прядь обезжиренных человеческих волос *1*, растянутая пружиной *4*. В зависимости от влажности воздуха положение указателя *3* и связанного с ним преобразователя *2* будет меняться, формируя сигнал об изменении влажности (рис. 7.8). В последнее время вместо волосных стали применяться влагочувствительные элементы из пластиков в виде нитей, мембран, полос.

В электролитических датчиках изменяемой величиной является электропроводность ненасыщенных водных растворов неорганических кислот или солей, например

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

хлористого лития LiCl, хлористых солей свинца, циркония, Na_2CO_3, $CaSO_4$, K_2SO_4, смеси сегнетовой и поваренной солей и др. На поверхности гильзы *1* из стекловолокна (рис. 7.9) или других водостойких материалов, пропитанных LiCl, располагается бифилярная греющая обмотка *2*, соединенная с источником переменного тока.

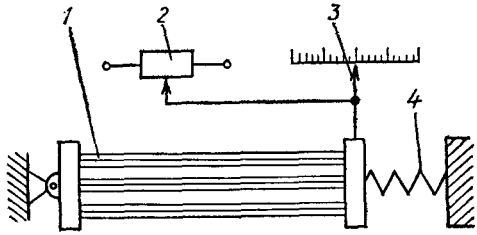


Рис. 7.8

Внутри гильзы помещается терморезистор *3*. Ее нагрев саморегулируется в зависимости от содержания влаги, так как раствор хорошо проводит ток. Нагрев увеличивается за счет шунтирования витков спирали. При этом вода испаряется, сопротивление электролита увеличивается — нагрев уменьшается. Таким образом, степень нагрева определяется проводимостью электролита, которая зависит от влажности (при охлаждении LiCl поглощает влагу из окружающей среды). Для измерения этим датчиком относительной влажности необходимо измерять сопротивление чувствительного элемента или силу тока в зависимости от φ.

Сорбционные электрогигрометры действуют по принципу изменения проводимости поверхностного слоя материала, например пористого эбонита, на который напылением наносится слой металла, являющийся электродом. Последний измеряет поверхностное сопротивление, изменяемое в зависимости от влажности по закону, близкому к степенному. В качестве поверхностно-влагоактивных материалов используются алюминиевые оксидные пленки, двухлористое олово и ряд других соединений.

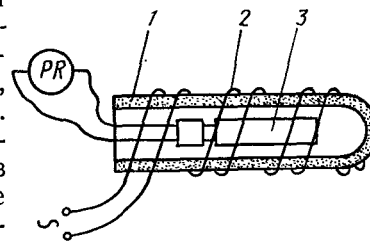


Рис. 7.9

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

7.3. Датчики давления (разрежения)

В большинстве датчиков давления используется принцип преобразования давления в механическое перемещение или усилие. Для измерения очень больших давлений применяются электрические датчики, а для контроля за малыми давлениями используются датчики косвенных измерений вязкости, теплопроводности, степени ионизации.

Жидкостные или гравитационные приборы с гидростатическим принципом действия широко распространены благодаря простоте и относительно высокой точности. Наполнителями жидкостных манометров являются дистиллированная вода, подкрашенный этиловый спирт, ртуть, керосин, дихлорэтан, толуол и другие жидкости, не меняющие со временем своих физико-химических свойств. Для использования дифманометров в качестве датчиков необходимы преобразователи сигнала — перемещения уровня заполнителя. Их разновидностью является кольцевой тягонапоромер, схема действия которого приведена на рис. 7.10. Тороидальная камера *1*, заполненная водой *4*, разделена перегородкой *2* на две камеры, которые находятся под давлением *p*. Устройство может поворачиваться вокруг точки опоры *3*, когда избыточное давление Δp вытеснит воду в другую камеру и тор потеряет равновесие. Отсчет производится по шкале *5*. В подвижной среде необходимо рассматривать статическое, динамическое (скоростное) и полное давление, которое воспринимают напорные или пневмометрические трубки в комплекте с дифференциальными манометрами, тягонапоромерами или микроманометрами.

В механических системах получили распространение мембранные датчики — круглые пластины постоянной

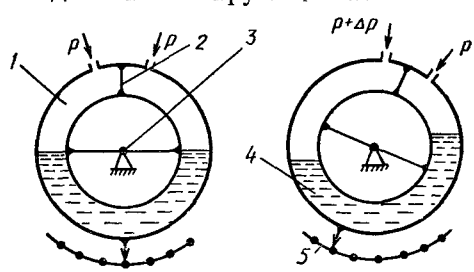


Рис. 7.10

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

толщины, находящиеся между двумя тарелками (рис. 7.11, *а*), образующими герметичные упругие камеры. В сечении мембраны—плоской (рис. 7.11, *а*), гофрированной (рис. 7.11, *б*) и выпуклой (рис. 7.11, *в*) формы, причем последняя разновидность называется хлопающей мембраной. Особенно широко в автоматике применяются сильфоны — гармониковые мембраны (рис. 7.11, *г*), об-

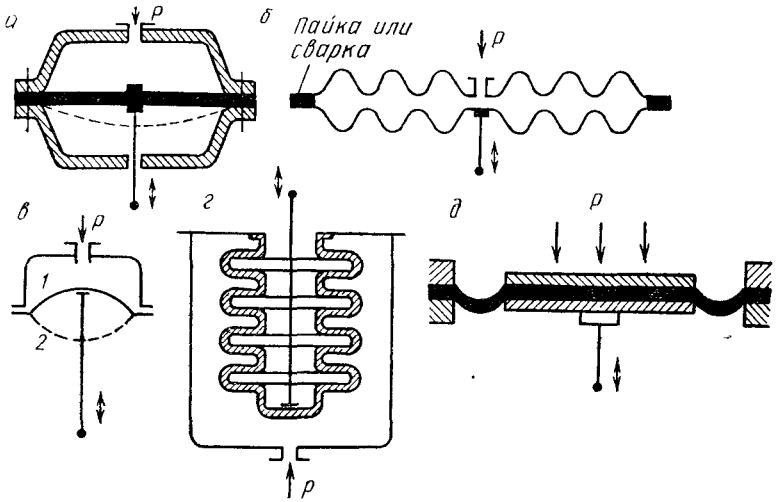


Рис. 7.11

ладающие большей способностью к деформированию. Трубчатые пружины Бурдона плоской и спиральной формы широко применяются в устройстве традиционных пружинных манометров. Материалом служат металлы — стали и бронзы (упругие) и неметаллы — капрон, пропитанные ткани, резина, пластики (вялые мембраны выполняются с жестким центром — рис. 7.11, *д*).

В датчиках с электрическим выходом используется пьезоэффект в кристаллах сегнетовой соли, кварца и тензоэффект, когда тензоэлементы наклеивают, например, на мембрану или сильфон. В ионизационном датчике на базе лампового триода, баллон которого соединяется с объектом измерения, анодный ток изменяется пропорционально давлению. Известны манометры сопротивления из манганиновой проволоки, приращение сопротивления которой зависит от давления.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

7.4. Датчики расхода

Масса или объем вещества, проходящего через сечение канала за определенный промежуток времени, называется расходом вещества, а измеряющие его приборы — расходомерами. Расходомер, снабженный интегратором для суммирования показаний за какой-то промежуток времени, называют счетчиком.

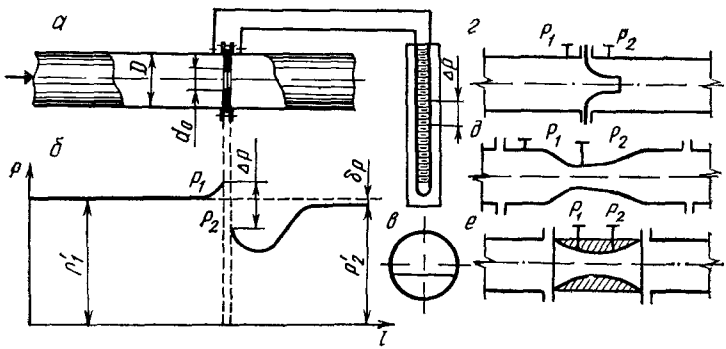


Рис. 7.12

Для измерения расхода жидкости при ее течении по трубопроводам постоянного сечения применяются дроссельные датчики. Сужение сечения при помощи такого датчика, например, диафрагмы, достигается установкой в трубопроводе тонкого диска диаметром D с концентрическим отверстием определенного диаметра d_0 и профиля (рис. 7.12, *а*). В суженном сечении происходит увеличение скорости и падение статического давления потока. По измеренному дифманометром перепаду давления Δp определяют скорость жидкости и ее расход.

Как видно из графика (рис. 7.12, *б*), установка датчика влечет за собой некоторую необратимую потерю давления δp, вызванную затратой энергии потока на вихреобразование до и после него. Значение δp для ориентировочных расчетов может быть найдено по выражению:

$$\delta p = \Delta p\,(1 - 1{,}1m),$$

где модуль $m = d_0^2/D_0^2$.

В качестве других дроссельных приборов используют-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ся сегментные диафрагмы (рис. 7.12, *в*), сопла (рис. 7.12, *г*) и трубы Вентури и Фостера (рис. 7,12, *д* и *е*).

Из расходомеров с постоянным перепадом давления наибольшее распространение получили ротаметры. Основной элемент прибора — конический поплавок *1*, вертикально перемещающийся под действием динамического давления потока внутри кольцевой диафрагмы *2* (рис. 7.13). Перемещение поплавка прекращается при уравновешивании сил тяжести поплавка и давления потока, при этом каждому значению расхода соответствует определенное положение поплавка. Обычно перемещение поплавка передается в электроизмерительную схему вторичного прибора.

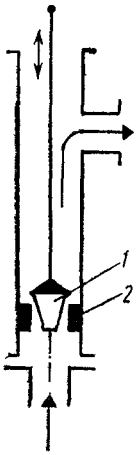


Рис. 7.13

В основу скоростного метода положено измерение при помощи стационарных напорных трубок средней скорости потока v_m, связанной с расходом: $V = v_m F$ (F — площадь поперечного сечения потока). Для косвенных измерений скорости потока используются счетчики с лопастными колесами, вертушками, взаимодействующими с потоком, средняя скорость движения которого влияет на частоту вращения датчика, например, в анемометрах, водомерах. В электротермоанемометре, степень охлаждения датчиков-термопар или терморезисторов которого пропорциональна скорости потока, формируется электрический сигнал об изменении расхода.

Широкое распространение для измерения нестационарных расходов получили бесконтактные методы — индукционные, ультразвуковые, СВЧ, ионизационные, радиоизотопные и др. Их сущность заключается в том, что под воздействием излучения от какого-либо источника *И* в потоке происходит соответствующая флуктуация, например образуется ионное облачко-метка *О*, дви-

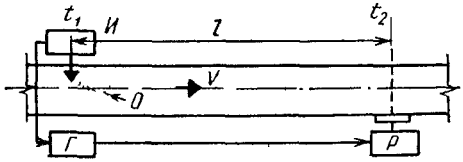


Рис. 7.14

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

жущееся вместе с потоком (рис. 7.14). Зная момент подачи t_1 частотного импульса генератором $Г$, расстояние l и момент t_2 прохождения облачком чувствительного элемента приемника-регистратора $Р$, определяют расход вещества V. Так в газоснабжении измеряется расход газа с помощью радиоактивных меток — порций криптона или ксенона, поступающих из специального баллончика-дозатора.

7.5. Измерение количества теплоты

Необходимость оперативного определения расхода теплоты и теплопотерь с особой остротой выявилась в последнее время в связи с требованием экономии топливно-энергетических ресурсов. Тепловая мощность потока определяется как $q=Mi$, где M — массовый расход теплоносителя; i — удельная энтальпия теплоносителя. Отпуск теплоты Q находят интегрированием q по времени. При этом в соответствии с видом теплоносителя энтальпия зависит от температуры и давления.

Используя формулу расхода $V = Ad_0^2\sqrt{h/\rho}$, получают для пара $q = K_1\sqrt{hx}\,(K_2 + K_3 p)$, где K_2, K_3 — постоянные, зависящие от параметров пара, а для воды $q = K_4\sqrt{h}\,(K_5 + K_6\theta)$, где K_5, K_6 — постоянные, определяемые давлением воды; K_1 и K_4 — градуировочные коэффициенты сужающих устройств. Из формул видно, что процесс

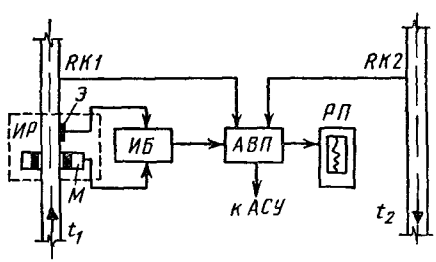


Рис. 7.15

измерения сводится к комплексному измерению давлений, перепадов давлений (расходов) и температур с последующими расчетными операциями.

БелЭНИН разработал теплосчетчик «Квант» для контроля и учета тепловой энергии, измерительная си-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

стема которого состоит из электромагнитного (индукционного) расходомера (ИР), платиновых терморезисторов — датчиков температуры прямого и обратного потоков и автоматического вычислительного прибора (АВП), выполненного на полупроводниках с применением интегральных микросхем (рис. 7.15). Подающий трубопровод расположен между полюсами электромагнита *М*, под действием которого ионы жидкости отдают заряды измерительным электродам *Э*, создавая ток, пропорциональный скорости (расходу *V*) жидкости, $e=VB/d$, где *B* — магнитная индукция; *d* — диаметр трубопровода. Измерительный блок *ИБ* трансформирует сигнал о расходе и передает на *АВП*, куда также поступают сигналы от терморезисторов *RK1* и *RK2*. АВП производит счетные операции с выходом на регистрирующий прибор *РП* и *АСУ*. Число разрядов электромеханического счетчика — шесть, потребляемая мощность находится в пределах 400...600 Вт в зависимости от диаметра условного прохода.

Важной эксплуатационной характеристикой теплоиспользующего оборудования являются его теплопотери, для измерения которых выпускаются портативные приборы, например ИТП-6. Действие прибора основано на термоэлектрическом эффекте при прохождении теплового потока через батарею термоэлементов (пределы измерения 0...5000 Вт/м^2).

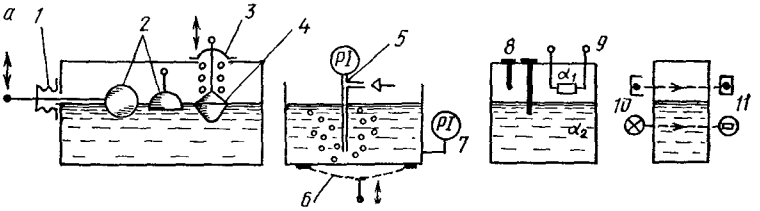
Теплосчетчики продолжают пока оставаться дорогостоящими и сложными приборами, пригодными для крупных объектов централизованного теплоснабжения. Индивидуальные тепломеры, широко распространенные в ряде европейских стран, оценивают расход теплоты индивидуальными потребителями, например радиаторами центрального отопления. Стеклянная градуированная трубочка, заполненная тетралином, прикрепляется к поверхности радиатора. Систематический ее нагрев приводит к испарению жидкости, по уровню которой судят о расходе теплоты.

7.6. Датчики уровня раздела двух сред

Выбор метода контроля уровня зависит от объекта контроля — открытого или закрытого (под давлением или разрежением) резервуара — и физико-химических свойств среды. Существуют контактные (датчик в среде)

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

и бесконтактные методы измерения. Вторые более сложны и менее надежны. Способ действия определяет вид датчика: сигнализатор, контролирующий предельные значения, или уровнемер, непрерывно измеряющий значения уровня. Для автоматизации процессов используются разнообразные методы и датчики (рис. 7.16, *а*). В поплавковых (буйковых) приборах чувствительным элементом служит поплавок постоянного *2* или переменного *4* погружения разнообразных форм (шаровые, полушаровые, биконические и т. п.). Оригинальна конструкция



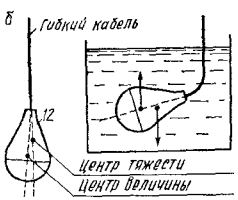


Рис. 7.16

шведского поплавкового сигнализатора фирмы «Flygt» (рис. 7.16, *б*). Внутри резиновой груши *12* находится ртутный выключатель, который срабатывает при опрокидывании поплавка с изменением уровня.

Важной конструктивной проблемой является передача сигнала — перемещения поплавка — за пределы сосудов, особенно герметических. Часто узлы выполняются в виде сильфонов *1* и гибких мембран *3*. На рис. 7.17 показан способ передачи перемещения рычага поплавка *1* магнитному стержню *2*, помещенному в немагнитную гильзу *3* (фирма «Vogel» (ФРГ)). При движении стержня внутри гильзы снаружи под воздействием силового поля передвигается стальной поводок *4*, соединенный с электроконтактором *5*.

Гидростатические методы связаны с измерением, например, давления воздуха, интенсивность выхода которого зависит от высоты столба жидкости *5* (см. рис. 7.16), измерением гидростатического давления жидкости *7* (можно использовать дифманометр), а также стрелы прогиба гибкого днища *6*. Действие электроконтактных

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

приборов *8* основано на различии в электропроводности сред, тепловых *9* — теплопроводности сред, например, теплоотдачи терморезистора, находящегося в воде α_2 или в воздухе α_1.

В уровнемерах излучения используется различие в плотности сред, образующих границу раздела. Это радио-

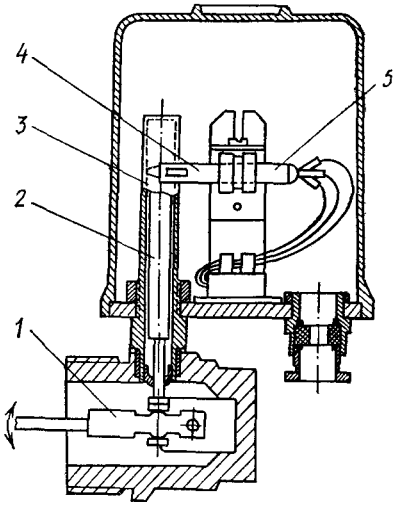


Рис. 7.17

активные (гамма-излучение), фотоэлектрические, ультразвуковые приборы бесконтактного контроля, состоящие из источника излучения *10* и приемников-регистраторов *11*.

7.7. Определение химического состава веществ

Необходимость контроля полноты сгорания топлива в теплогенераторах, анализа состава газа, выявления его утечки, определения качества воды и пара, соблюдения санитарных норм охраны окружающей среды и ряд других вопросов связаны с использованием в автоматике специфических методов контроля и средств измерения. Для определения состава газа применяются газоанализаторы, содержания солей — солемеры, жесткости воды —

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

жесткомеры, содержания кислорода — кислородомеры, концентрации водородных ионов — pH-метры.

Определеиие объемного содержания O_2 и CO_2, а также CO и H_2 в дымовых газах позволяет контролировать коэффициент избытка воздуха α при сгорании топлива и является основным видом газового анализа. Принцип действия термомагнитных газоанализаторов основан на эффекте резкого отличия парамагнитиых свойств O_2 от других газов, что используется в схеме газоаиализатора МН5106. Электротепловыми газоанализаторами чаще определяется содержание CO_2, а действие их базируется иа различии теплопроводностей компонентов газовой смеси и воздуха. На рис. 7.18 показана упрощенная принципиальная схема газоанализатора ГЭУК-21. Платиновые нити — резисторы *R1...R4*—включаются в плечи неуравновешенного моста, причем *R1* и *R3* помещены в сравнительные камеры с воздухом, а через измерительные камеры с резисторами *R2* и *R4* водоструйным эжектором *Э* просасывается исследуемый газ. Теплоотдача резисторов и электрическое сопротивление будут разными, в результате чего равновесие моста нарушится и милливольтметр *PV* покажет содержание CO_2. В термохимических газоанализаторах находит применение каталитическое окисление на поверхности нагретой проволоки. Действие оптических газоанализаторов основано на измерении оптической плотности, спектров поглощения или испускания газовой смеси.

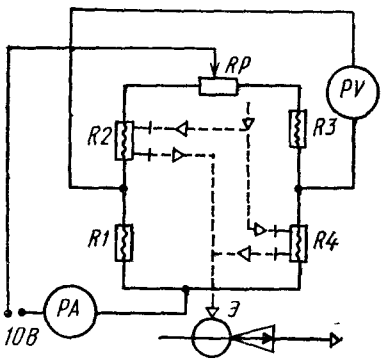


Рис. 7.18

Методика определения содержания солей в воде и паре базируется на сопоставлении их электропроводности с электропроводностью электролита NaCl. Жесткость воды определяют фотоколориметрическим методом с измерением интенсивности окраски растворов. Например, вследствие реакции соединений кальция и магния с хромовым красителем меняется окраска воды от голубого

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

до темно-вишневого цвета, что фиксируется фотоприбором. Содержание кислорода в воде находят по изменению теплопроводности после его выделения в специальной камере в присутствии водорода. Измерение pH водных растворов производят также сравнительным методом. Два стеклянных электрода датчика образуют за счет появления поверхностного потенциала своеобразный гальванический элемент, ЭДС которого зависит только от pH.

7.8. Прочие измерения

Наряду с основными теплотехническими величинами в практике ТГВ приходится устанавливать и некоторые другие величины. Так, важнейшей характеристикой гидравлических машин, электроприводов является их частота вращения, контроль которой преимущественно осуществляется с помощью центробежного измерительного элемента (рис. 7.19, *а*). Центробежное усилие, развиваемое грузиками *1*, передается муфте *2*, перемещение которой формирует выходной сигнал в зависимости от частоты вращения вала *3*. В ряде случаев используются тахогенераторы (рис. 7.19, *б*) и пневмотахометры (рис. 7.19, *в*), принцип действия которых заключается в преобразовании частоты вращения вала в ЭДС или давление

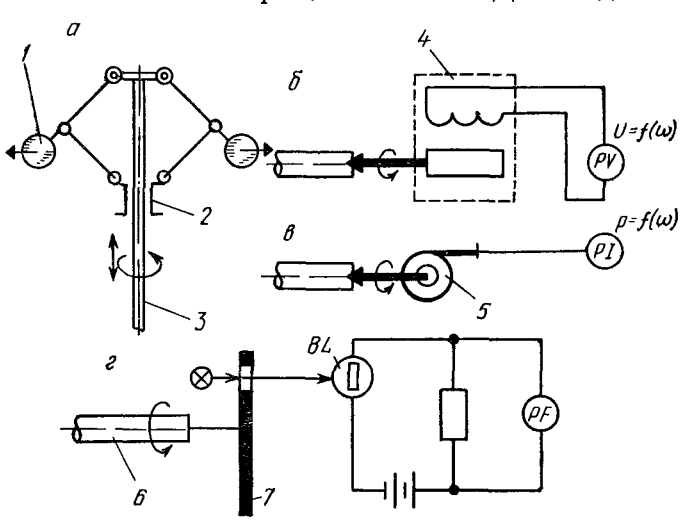


Рис. 7.19

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

газа (жидкости). На приводном валу испытываемой машины устанавливаются микрогенератор *4* или микронагнетатель *5*, служащие датчиками частоты вращения.

Существует радиоактивный счетчик оборотов. На его диск, связанный с вращающимся валом, наносится точечная радиоактивная метка, периодически появляющаяся с определенной частотой перед регистратором. Диск оптического импульсного тахометра *7* (рис. 7.19, *г*) с прорезью, соединенный с вращающимся объектом *6*, является прерывателем светового потока на фоторезистор *BL*, включенный в схему с частотомером *PF*.

В динамических режимах важную роль играет ускорение, измеряемое акселерометрами, которые состоят из корпуса и инерционной массы, упруго соединенных между собой пружиной. С изменением ускорения меняется положение массы относительно корпуса, и это перемещение преобразуется в электрический выходной сигнал.

7.9. Основные схемы включения электрических датчиков неэлектрических величин

Общей тенденцией автоматизации производственных процессов является растущее число измерений неэлектрических величин и разнообразие методов преобразования неэлектрических величин в электрические. При этом увеличивается число датчиков, преобразующих измеряемую неэлектрическую величину в электрический сигнал. На рис. 7.20 приведены принципы, на которых основано большинство современных датчиков с электрическим выходом.

Существующие измерительные схемы можно разделить на неравновесные и равновесные, или компенсационные. Примером неравновесной схемы служит мостовая (рис. 7.21, *а*). Для равновесия моста необходимо соблюдение условия $R_1R_4=R_2R_3$. Если поменять один из резисторов на терморезистор, то напряжение в диагонали изменится соответственно сопротивлению или изменению температуры. При работе на переменном токе необходимо активные сопротивления заменить полными ($z_1z_4=z_2z_3$). В измерительную диагональ *ac* (*bd* — диагональ питания) включают измерительный прибор, шкалу которого градуируют в единицах измеряемой величины. Выходной ток (напряжение) с диагонали можно подать

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

на последующие элементы, например на вход усилителя. Мостовые неравновесные схемы используют, как правило, с параметрическими датчиками (модуляторами). На рис. 7.21, *б* показан полупроводниковый психрометр на базе неравновесного моста (современный вариант изображения схем, в отличие от традиционного, см. рис. 7.21, *а*). Сухой *RK1* и мокрый *RK2* терморезисторы включены в измерительные плечи; кроме того, имеется дополнительный сухой терморезистор *RK3*, компенсирующий изменение психрометрической разности температур при изменении температуры воздуха.

Неравновесная измерительная схема с логометром является разновидностью мостовой схемы (рис. 7.22).



Рис. 7.20

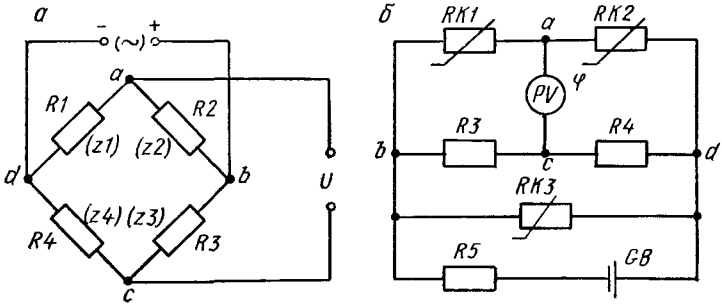


Рис 7.21

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

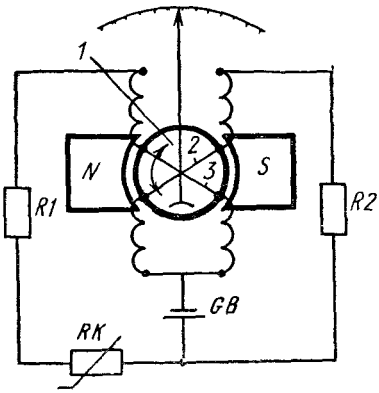


Рис. 7.22

Логометр — магнитоэлектрический прибор, подвижная часть которого *1* имеет две рамки *2* и *3*, расположенные в магнитном поле постоянного магнита. При прохождении тока через рамки последние создают противоположно направленные крутящие моменты, равные друг другу при равных токах. Если в цепь одной из рамок будет включен, например, термозависимый резистор *RK*, то вследствие возникающей разности моментов подвижная система, связанная с показывающим или регулирующим устройством, повернется.

При необходимости автоматического контроля высокой точности используются равновесные измерительные схемы, которые подразделяются на мостовые и компенсационные (потенциометрические). В обоих случаях применяется нулевой метод измерения: случайное изменение сопротивления одного плеча компенсируется преднамеренным изменением сопротивления другого до момента исчезновения тока в измерительной диагонали. Отсчет ведется по скомпенсированному сопротивлению. Мостовые равновесные схемы также используются с дат-

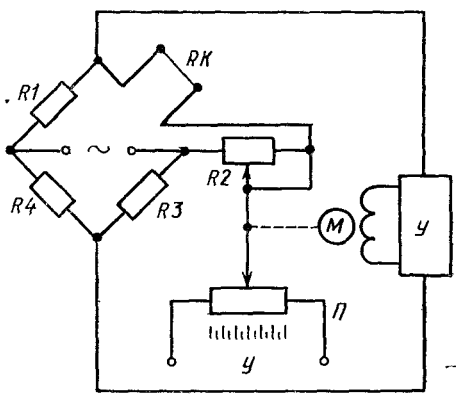


Рис. 7.23

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

чиками-модуляторами, а потенциометрические — с датчиками генераторного типа, например с термоэлементами.

Наибольшее распространение в технике получил способ автоматического уравновешивания. Приборы соответственно получили название автоматических мостов и автоматических компенсаторов (потенциометров). На рис. 7.23 показана упрощенная схема автоматического термоанемометра, разработанная на базе равновесной мостовой измерительной схемы. Мост автоматически балансируется при помощи переменного резистора *R2*, включенного последовательно с измерительной нитью *RK*. Разбаланс моста воспринимает электронный фазочувствительный усилитель *У*, который управляет реверсивным микродвигателем *М*, приводящим в движение ползунок резистора *R2*, балансирующего мост, с одновременной фиксацией параметра на показывающем устройстве *П* или формированием регулирующего сигнала *у*.

В качестве примера автоматического потенциометра рассмотрим схему, приведенную на рис. 7.24. ТермоЭДС датчика *ВК* компенсируется напряжением благодаря перемещению движка переменного резистора (реохорда) *RP*. Стабилизация питания прибора осуществляется регулируемым резистором *R1*, включенным последовательно с элементом *GB1*. Источником компенсирующего питания служит нормальный никель-кадмиевый элемент *GB2* с неизменной ЭДС, для компенсации температуры холодного спая датчика использован резистор *R2*. Неизвестная

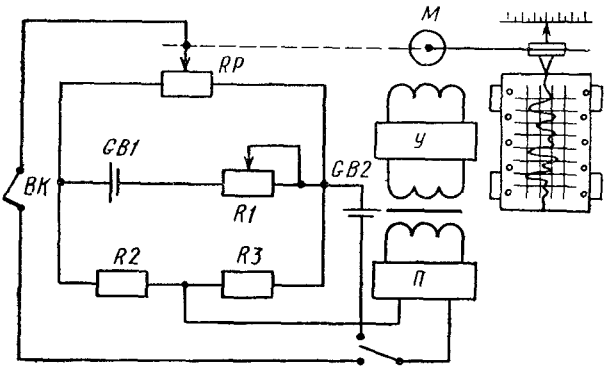


Рис. 7.24

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

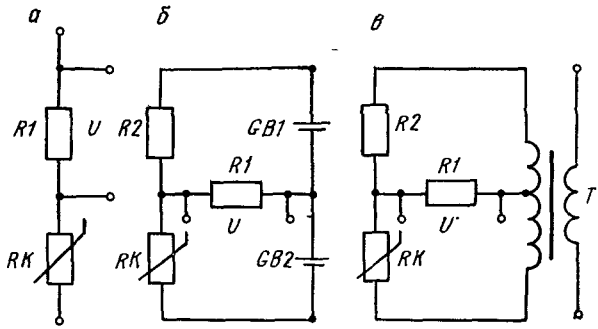


Рис. 7.25

ЭДС термопары и известная нормального элемента *GB2* в виде напряжения разбаланса с помощью преобразователя *П* превращается в напряжение переменного тока и воспринимается входным трансформатором усилителя *У*. Последний приводит в действие реверсивный двигатель *М* привода реохорда с одновременной печатью показаний на диаграммной ленте. В современных схемах автоматических потенциометров вместо элементов питания используются выпрямители-стабилизаторы, а преобразователи выполняются на транзисторах. Автоматические потенциометры выпускаются многоточечными с числом термодатчиков до 24 и более.

На рис. 7.25 приведены простейшие схемы включения датчиков: нереверсивная (рис. 7.25, *а*) и дифференциальная (рис. 7.25, *б*), в которых управляющим элементом является терморезистор *RK*, а в качестве нагрузки используется резистор *R1*. В дифференциальной схеме при одинаковых напряжениях вспомогательных источников питания *GB1* и *GB2* и *R2=RK* ток в цепи нагрузки *R1* будет равен нулю и любое отклонение сопротивления *RK* от номинального значения при изменении температуры вызывает появление выходного сигнала — напряжения *U*. Особенно удобны дифференциальные схемы с использованием трансформатора *Т* с нулевой точкой (рис. 7.25, *в*).

7.10. Суммирующие устройства

В ряде случаев в автоматических системах управления приходится иметь дело с несколькими исходными сигналами, над которыми необходимо выполнять различные математические операции для формирования

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

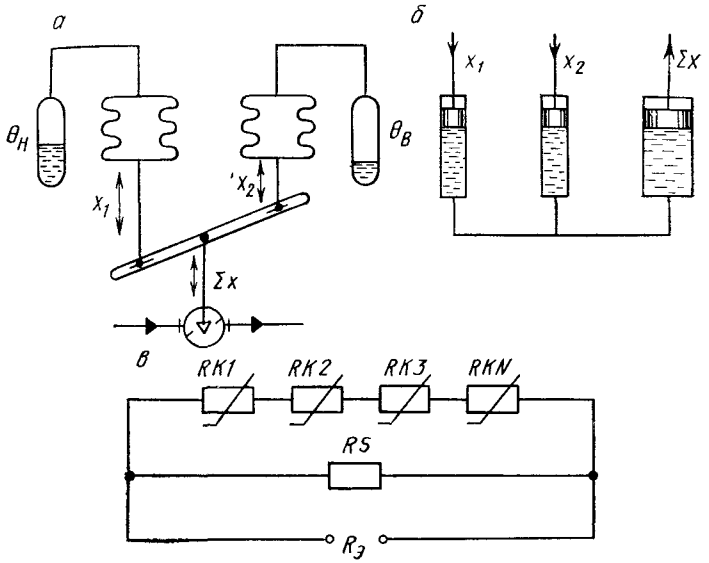


Рис. 7.26

одного выходного воздействия. Например, задача осреднения температуры воздуха или влажности в помещении, измеряемых несколькими датчиками, или сравнение сигналов по отклонению и возмущению, введение обратных связей и т. д. Устройства, осуществляющие указанные операции, принято называть сумматорами. В технике автоматизации используются механические, гидравлические (пневматические) и электрические сумматоры, простейшие из которых показаны на рис. 7.26. Примером механического сумматора для сложения (вычитания) перемещений (усилий) может служить рычажное суммирующее устройство. На рис. 7.26, *а* сравниваются сигналы x_1 и x_2 от манометрических датчиков температуры наружного $\theta_н$ и внутреннего $\theta_в$ воздуха при управлении подачей газа в водогрейных микрокотлах. Гидравлический или пневматический сумматор (рис. 7.26, *б*) обычно состоит из ряда соединенных поршневых цилиндров.

Суммирование электрических величин, измеряемых однотипными датчиками, в большинстве случаев можно осуществлять их последовательным включением. Например, схема с параллельно включенным шунтом *RS* (рис. 7.26, *в*) позволяет измерять усредненную темпера-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

туру при любом числе датчиков — терморезисторов с минимальной погрешностью, причем $R_э = R_t R_s/(R_t + R_s)$, где $R_t = \sum_{i=1}^{n} R_i$ — суммарное сопротивление датчиков.

7.11. Методы передачи сигналов

Для увеличения расстояния, на которое передается измерительная информация, применяют гидравлические, пневматические и электрические (электронные) передачи. Гидравлические и пневматические передачи наиболее просты, но имеют ограниченный радиус действия; принцип действия такой передачи использован при дистанционном измерении уровня жидкости с гидравлической передачей сигнала сдвоенными сильфонами (рис. 7.27, *а*).

Среди электрических передающих устройств наибольшее распространение получили индуктивные мосты, дифференциально-трансформаторные схемы и сельсины. Первые используются в поплавковых и колокольных манометрах, ротаметрах и датчиках поступательного перемещения. Индуктивные катушки передающего *L1* и приемного *L2* устройств соединены по трехпроводной мостовой схеме (рис. 7.27, *б*). При перемещении сердечника *1*, связанного с ротаметром *BV*, подвижная система *2* устанавливается автоматически в такое же положе-

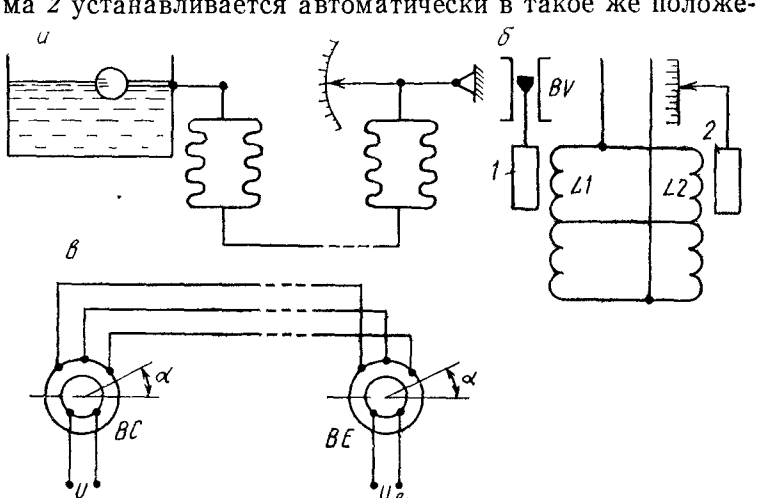


Рис. 7.27

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ние вследствие появления тока в центральной связи и перераспределения магнитных потоков.

Сельсин (рис. 7.27, *в*) представляет собой спаренные миниатюрные электрические машины с трехфазными статорами и однофазными роторами, присоединенными к одной цепи. Если повернуть на какой-то угол α ротор *BC* датчика, то ротор *BE* приемника воспроизведет его движение с небольшим отставанием (до 3°).

Глава 8. УСИЛИТЕЛЬНО-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Усилительно-преобразовательное устройство (усилитель *У*) служит для увеличения мощности измерительного сигнала путем открытия доступа в канал управления (регулирования) энергии от постороннего источника.

Основной статической характеристикой усилителя является коэффициент усиления по мощности $K_N = N_2/N_1$ — отношение мощностей выходного и входного сигналов. В зависимости от устройства и принципа действия усилителя K_N может колебаться от 10 до 10^8 и более, причем верхний предел характерен для электронных усилителей. Выходные мощности могут доходить до десятка и более киловатт, но электрические усилители имеют ограниченную мощность, связанную с резким возрастанием габаритов исполнительных устройств.

Усилители различают по виду энергоносителя, по выходной мощности, коэффициенту усиления (преобразования), по статической характеристике (линейные и нелинейные). Основная классификация предполагает разделение по виду энергоносителя на гидравлические, пневматические, электрические, электронные и комбинированные. На приведенных схемах x — входной сигнал, y — выходной.

8.1. Гидравлические усилители

В качестве энергоносителей используются жидкости, не меняющие своих физико-химических свойств в процессе эксплуатации: вода, минеральные масла (трансформаторное, веретенное В-20, ГМЦ-2, велосит, турбинное), керосин, спирто-глицериновые смеси, синтетические — полисилоксан, ДС-200, силиконовые масла. Жидкие энергоносители должны обладать неизменной

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

вязкостью в широком температурном интервале, низкой температурой замерзания, а также пожаро- и взрывобезопасностью, неагрессивностью по отношению к металлам и материалам уплотнений, безвредностью для здоровья людей, низкой стоимостью, не иметь способности к растворению воздуха и газов и пенообразованию.

Золотниковые гидроусилители представляют собой миниатюрные устройства типа пор-

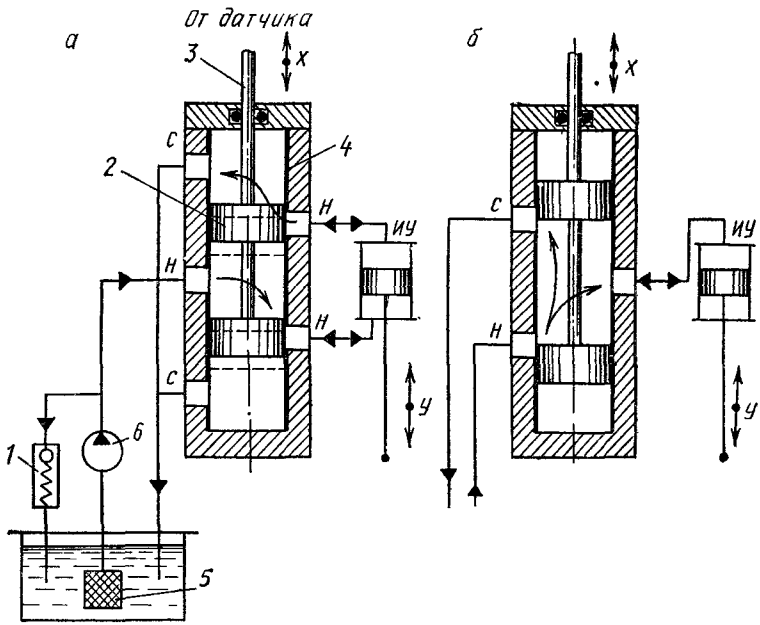


Рис. 8.1

шень — цилиндр, отличающиеся простотой конструкции и высокой надежностью. Золотник может быть отсечного типа и проточного (рис. 8.1, *а* и *б*). В обоих случаях он состоит из гильзы *4* с рядом отверстий, внутри которой передвигается плунжер *3* с буртиками *2*, изменяющий направление дижения жидкости от источника энергии (насоса *6*). Движение плунжера осуществляется под воздействием *x* датчика, которое подлежит усилению и преобразованию. При отсутствии воздействия плунжер находится в нейтральном положении, отверстия перекрыты, жидкость остается в центральной полости. Наличие

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

сдвоенных буртиков позволяет разгрузить устройство от давления энергоносителя, равнодействующая давления будет равна нулю, плунжер легко перемещается от незначительного усилия датчика.

При перемещении плунжера вниз (показано пунктиром) открываются напорные окна *Н*, жидкость поступает в напорную полость исполнительного устройства *ИУ*, а из другой полости уходит через сливные отверстия *С*. Ско-

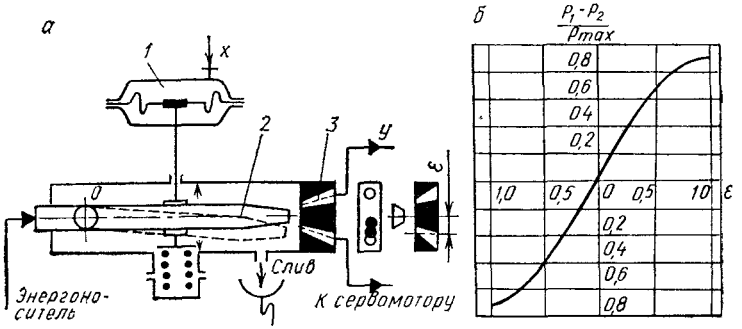


Рис. 8.2

рость перемещения поршня зависит от степени открытия напорных отверстий, причем закономерность ее изменения может быть задана профилированием — приданием соответствующей формы (круглой, овальной, треугольной и т. п.) отверстиям. В отсечном золотнике при нейтральном положении плунжера жидкость через золотник не проходит, а через проточный непрерывно циркулирует. В зависимости от положения плунжера меняется расход энергоносителя (до минимума), и поршень сервомотора, перемещаясь под его давлением (ход вниз) либо под действием возвратной пружины, выталкивает жидкость на слив (ход вверх).

Работа гидроусилителя со струйной трубкой основана на принципе преобразования динамического давления струи рабочей жидкости, вытекающей из сопла трубки *2*, в статическое давление ее в приемных каналах диффузорной формы *3* (рис. 8.2, *а*). Трубка поворачивается в шарнире *О* под действием усилия от датчика *1*, направляя струю в соответствующий канал, соединенный с полостью сервомотора. Из другой полости жидкость через канал попадает в корпус усили-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

теля и идет на слив. В нейтральном положении давление перераспределяется между каналами равномерно и система находится в равновесном состоянии. На этом же рисунке показаны конструкция приемной сопловой головки и расположение отверстий. На рис. 8.2, *б* приведена статическая характеристика усилителя $(p_2-p_1)/p_{max}=f(\varepsilon)$, т. е. перепад давления в функции от перемещения трубки. Коэффициент усиления может достигать 10^4.

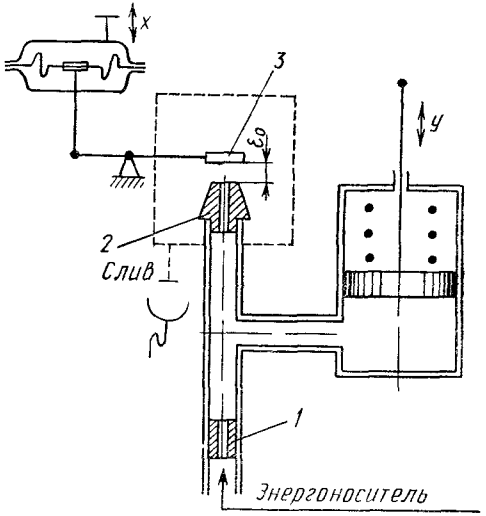


Рис. 8.3

Гидроусилитель в виде дросселя переменного сечения (усилитель типа сопло — заслонка) получил широкое распространение в системах ТГВ (рис. 8.3). Устройство включает дроссели постоянного *1* и переменного сопротивлений, меняющихся при смещении заслонки *3* относительно сопла *2*. При изменении положения заслонки ($\varepsilon<\varepsilon_0$) давление увеличивается и жидкость подается под поршень сервомотора. С отходом заслонки от сопла увеличивается слив жидкости, давление в магистрали падает и сервомотор под действием пружины осуществляет обратный ход. Отличительной особенностью усилителей этого типа является наличие только одной магистрали, соединяющей источник энергии с сервомотором.

Неотъемлемой частью гидроусилительной системы яв-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ляется насос, если не используется вода из водопровода или из напорных баков. Применяются роторно-поршневые, пластинчатые, шестеренные и винтовые насосы, развивающие давление до 35 МПа при подаче до 5 л/мин. На всасывающих линиях насосов устанавливаются фильтры тонкой очистки *5*, а также редукционные клапаны *1* для стабилизации давления энергоносителя (см. рис. 8.1, *а*).

8.2. Пневматические усилители

Особенности использования воздуха и других газов в качестве энергоносителей — возможность их сжатия, малые плотность и давление (из-за нагрева и взрывоопасности), трение без смазочного материала в механизмах — накладывают свой отпечаток на устройство пневмоусилителей. Наиболее часто применяется усилитель типа сопло — заслонка, особенно в пневмоавтоматике газоснабжающих систем и котельной. В пневмоусилителях других видов обычно используются следующие конструктивные элементы: пневмосопротивления, мембраны (одиночные и собранные в пакеты) и пневмокамеры. На рис. 8.4 показан простейший усилитель отечественной универсальной системы элементов промышленной пневмоавтоматики (УСЭППА), входящей в ГСП. Измерение сигнала x производится в мембранной камере *А*. При его изменении открываются (закрываются) клапаны *1* (пневмосопротивления) или *2* (сброса в атмосферу). Например, при увеличении x закрывается *2*, открывается *1* и энергоноситель, заполняя выходную линию, формирует сигнал y, передаваемый сервомотору.

В настоящее время широко применяются элементы струйной автоматики, которую, по аналогии с электроникой, называют пневмоникой.

Пневмоусилители присоединяют к автономному источнику энергии, чаще всего к компрессорной установке, или к име-

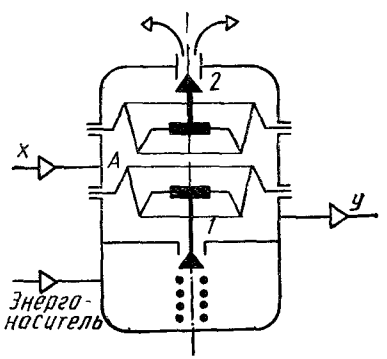


Рис. 8.4

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ющейся магистрали сжатого воздуха или другого газа, в том числе и идущего на газоснабжение. Требования к сжатому воздуху (давление до 0,8 МПа) определяются ГОСТ 11882—73. Наиболее распространенным типом компрессора является поршневой. В состав установки обязательно входят фильтры, водомаслоотделитель, адсорбер для осушения воздуха и стабилизаторы давления.

8.3. Электрические усилители. Реле

Электрический усилитель повышает значения напряжения, тока или мощности. Чувствительностью усилителя S называют входной сигнал x_0, при котором выходной сигнал достигает номинального значения: $S=x_0/K$, где K — коэффициент усиления или преобразования.

Электромашинным усилителем (ЭМУ) может служить обычный генератор постоянного тока с независимым возбуждением. Коэффициент усиления ЭМУ достигает $10^3...10^4$, так как мощность возбуждения составляет несколько процентов от выходной мощности машины. Принцип действия ЭМУ (рис. 8.5, *а*) состоит в том, что сигнал об изменении тока, подлежащего усилению, подается на обмотку возбуждения *ОВ* генератора *Г*, приводя к изменению магнитного потока генератора и ЭДС в его якоре. На рис. 8.5, *б* показана статическая характеристика такого усилителя.

Принцип действия магнитного усилителя основан на свойстве ферромагнитных материалов уменьшать динамическую магнитную проницаемость магнитопровода (сердечника) для переменного тока при подмагничивании постоянным током. При этом снижается индук-

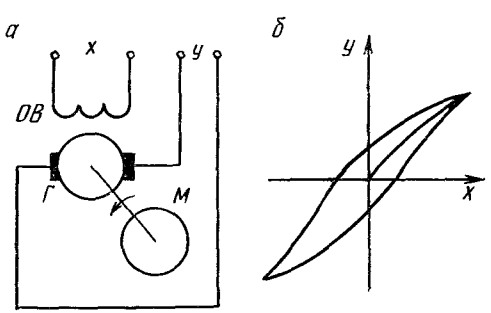


Рис. 8.5

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

тивность обмоток L и увеличивается рабочий ток $I=U/\sqrt{(\omega L)^2+R_н^2}$.

На рис. 8.6 показаны схема однотактного усилителя с тороидальным магнитопроводом (могут быть П- и Ш-образные) с последовательным включением нагрузки и статическая характеристика $y=f(x)$ с зависимостью $L=f(x)$. Характеристики на рабочем участке близки к

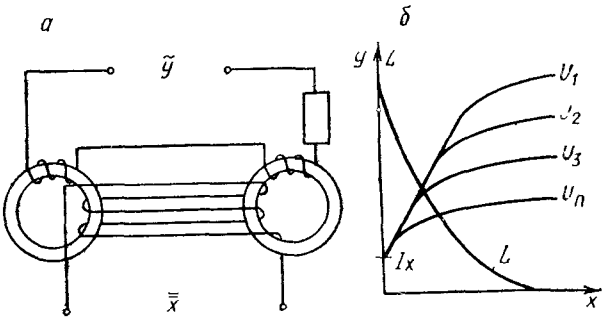


Рис. 8.6

линейным (I_x — ток холостого хода) и имеют такую же форму во втором квадранте, т. е. эффект усиления не зависит от полярности сигнала.

К достоинствам магнитных усилителей следует отнести высокие надежность, КПД, простоту обслуживания, взрыво- и пожаростойкость. Основной недостаток — сравнительно большая инерционность, поэтому во многих случаях целесообразна комбинация магнитного усилителя с другими типами усилителей. На рис. 8.7 показан пример применения магнитного усилителя в схеме измерения влажности.

Наряду с устройствами, осуществляющими непрерывную функциональную связь между входной и выходной величинами, в автоматике используют элементы, у которых непрерывному изменению входной величины соответствует скачкообразное изменение выходной. Такие элементы называются реле, а их статическая характеристика, имеющая скачкообразную, ступенчатую форму,— характеристикой релейного вида (рис. 8.7, *б*).

Наиболее характерным примером может служить электромагнитное реле (рис. 8.7, *а*). Его основными конструктивными узлами являются электромагнитная катушка *1* с управляющей обмоткой, на которую подается

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

сигнал x, якорь 2, механически соединенный с контактной группой 3, осуществляющей коммутирование вторичной цепи, в которой формируется выходной сигнал y. Принцип действия реле позволяет малыми сигналами в первичной цепи управлять мощными токами по вторичной, чем пользуются, применяя реле в качестве усилителей. Входной может быть и неэлектрическая величина, на-

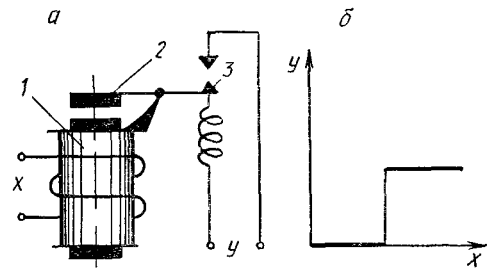


Рис. 8.7

пример температура, давление. Используются и пневматические, и гидравлические реле, имеющие характеристики ступенчатого вида.

8.4. Электронные усилители

Использование датчиков с маломощными выходными сигналами порядка нескольких микроватт требует применения электронных (ламповых и полупроводниковых) усилителей постоянного и переменного тока.

Рассмотрим принцип действия простейшего лампового усилителя, собранного на пентоде (рис. 8.8, *а*), который помимо анода A, катода K и управляющей сетки $Ст$ имеет дополнительно нить накала H, защитную $З$ и экранирующую $Э$ сетки для улучшения характеристик лампы. Входной сигнал от датчика подается на управляющую сетку через переменный резистор R, позволяющий регулировать усиление. Катод и защитная сетка соединены с землей через резистор $R1$, параллельно которому включен конденсатор $C1$. Они образуют цепь смещения. Работа усилителя обычно изображается графически в виде семейства статических анодно-сеточных характеристик $I_а=f(U_с)$ при $U_а=\text{const}$, изображенных на рис. 8.8, *б*. Характеристики имеют форму кривых с саморегулированием и зоной насыщения H, когда анодный ток дости-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

гает максимума, или зоной запирания $З$, когда анодный ток прекращается при некотором отрицательном потенциале $U_з$. Для получения той или иной рабочей характеристики, т. е. смещения ее, как указано на рисунке пунктиром, и служит цепочка $R1C1$. Коэффициент усиления тем больше, чем больше крутизна характеристики. На выходе схемы включен трансформатор, первичная

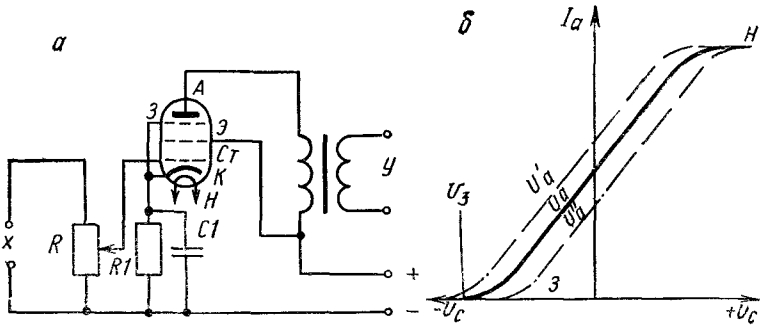


Рис. 8.8

обмотка которого служит нагрузкой анодной цепи, а вторичная — выходом усилителя, но можно нагрузку, например обмотку реле, включать в анодную цепь.

Ламповые усилители имеют выходную мощность до 500 Вт, поэтому для получения больших выходных мощностей применяют тиратронные (трехэлектродные лампы, заполненные аргоном, неоном или ртутными парами) усилители. Ламповые усилители находят разнообразное применение ввиду практической безынерционности, большого входного сопротивления, широкого диапазона рабочих частот, стабильности характеристик по отношению к параметрам внешней среды, небольших массы и габаритов. К основным их недостаткам следует отнести малые надежность, выходную мощность и срок службы.

Новый этап в технике, в том числе и автоматике, наступил после изобретения в 1948 г. Дж. Бардином, У. Браттейном и У. Шокли полупроводникового триода — транзистора. Соперник электронной лампы оказался чрезвычайно простым по конструкции, небольших размеров, долговечным, что позволило создать надежные, компактные автоматические устройства, потребляющие по сравнению с ламповыми в тысячи раз меньше энергии.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Несмотря на это существенный недостаток транзисторов — разброс значений параметров.

Прежде чем рассмотреть конкретную схему транзисторного усилителя, сравним транзистор и электронную лампу. В лампе анодным током управляет сетка, в транзисторе током коллектора — ток эмиттера. Изменение напряжения в доли вольта на эмиттерном переходе вы-

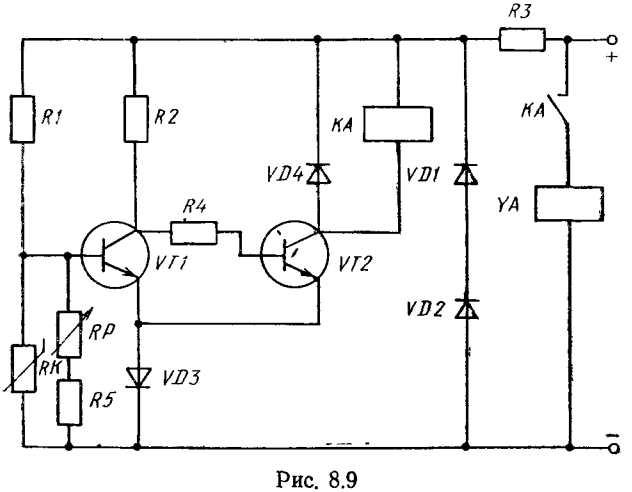


Рис. 8.9

зывает изменение напряжения на коллекторном в вольтах (0,01 В→1 В).

На рис. 8.9 показан бесконтактный полупроводниковый автоматический регулятор температуры для систем отопления, разработанный в Белорусском политехническом институте. Принципиальная электрическая схема включает транзисторный усилитель постоянного тока с триггером Шмитта и температурно-зависимым делителем напряжения в цепи базы транзистора *VT1*. В одном плече делителя установлен датчик температуры — полупроводниковый терморезистор *RK*, резисторы *RP* для настройки на заданную температуру и *R5*, а во втором плече резистор *R1*. В схеме применено бесконтактное электронное реле (триггер), состоящее из двух, соединенных определенным образом транзисторов *VT1* и *VT2*. Триггер может находиться в двух устойчивых состояниях и управляется напряжением, падающим на терморезисторе *RK*. При низкой температуре это напряжение велико, транзистор

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Табл. 8.1. **Технические характеристики усилителей**

Тип усилителя	Коэффициент усиления K_N	Динамическая постоянная T_z, с	Выходная мощность N_2, Вт
Гидравлический	$10^3 \ldots 10^4$	$10^{-3} \ldots 10^{-2}$	10^4
Магнитный	$10^2 \ldots 10^6$	$10^{-2} \ldots 1$	10^6
Электромашинный	$10 \ldots 10^4$	$5 \cdot 10^{-2} \ldots 1$	10^7
Ламповый	$10^5 \ldots 10^{14}$	$10^{-8} \ldots 10^{-2}$	10^2
Полупроводниковый	$10^2 \ldots 10^6$	$10^{-5} \ldots 10^{-2}$	10^2
Тиратронный	$10^3 \ldots 10^6$	$10^{-4} \ldots 10^{-1}$	10^4
Реле	$10^2 \ldots 10^6$	$10^{-3} \ldots 1$	10^6
Механический	До 10^3	$10^{-3} \ldots 1$	10^5

VT1 открыт, а *VT2* закрыт и контакты реле *KA*, обмотка которого служит нагрузкой коллектора *VT2*, разомкнуты. С повышением температуры сопротивление *RK*, а также падение напряжения на нем уменьшаются, *VT1* закрывается, а *VT2* открывается, триггер «опрокидывается». Ток идет через реле *KA*, которое замыкает свои контакты в цепи исполнительного устройства *YA*. Посредством резистора *R1* можно смещать диапазон регулируемой температуры.

В качестве полупроводниковых управляющих элементов используются также кремниевые управляемые вентили или тиристоры, предназначенные для токов до 100 А и напряжений до 800 В. По принципу действия тиристор аналогичен тиратрону и обладает малой мощностью сигнала управления, безынерционностью, большим сроком службы. Полупроводниковые приборы весьма чувствительны к перегрузкам по напряжению и току. Допустимая пятикратная перегрузка, например, не должна длиться более 5 мс, поэтому в схемах используют специальные защитные приспособления. В табл. 8.1 приведены сравнительные данные усилителей некоторых типов.

8.5. Многокаскадное усиление

Алгоритм функционирования усилителя ограничивается предельными значениями важнейших параметров (коэффициента усиления, выходной мощности, входных характеристик), поэтому одним усилителем не всегда удается усилить сигнал. Кроме того, сигнал часто требуется преобразовать в иную форму для удобства использования в каналах управления.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Под каскадом понимают этап усиления. Чаще всего многокаскадное усиление используется в электронных схемах. Например, для получения большой выходной мощности на выходе усилителя должна стоять мощная лампа или несколько ламп, на сетку которых необходимо подать значительное напряжение. Датчик не обеспечивает усилитель такой схемы необходимым сигналом,

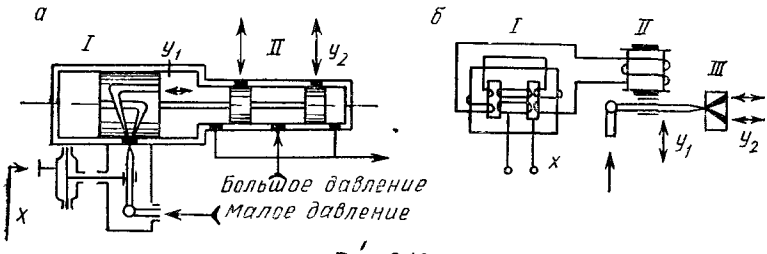


Рис. 8.10

поэтому его приходится усиливать в каскадах предварительного усиления. При комбинированном многокаскадном усилении последовательно соединяются усилители рассмотренных ранее типов: в гидравлических — золотникового *II* и струйного *I* типов (рис. 8.10, *а*), в электрогидравлических — магнитный *I*, реле *II* и струйный *III* (рис. 8.10, *б*); пневмогидравлические (позиционеры) и других типов в зависимости от конкретных требований к построению схемы автоматизации и свойств объектов.

Коэффициент усиления многокаскадных усилителей равен произведению коэффициентов усиления отдельных каскадов (ступеней) $K_N = \prod_{i=1}^{n} K_{Ni}$ и может достигать достаточно больших значений.

Глава 9. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Исполнительные устройства (механизмы), или сервомоторы, получают сигнал от усилителя и формируют перестановочное усилие для привода в действие регулирующего органа. Базовый принцип классификации сервомотора — вид энергоносителя, в зависимости от которого они подразделяются на гидравлические, пневматические, электрические и комбинированные. По характе-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ру перемещения рабочего органа бывают сервомоторы непрерывного и дискретного действия (открыто — закрыто), а также поступательного и вращательного движения. Основными характеристиками сервомоторов являются: коэффициент усиления по мощности, скорость (постоянная или переменная) и усилие (перемещение) на выходе. Конструктивно сервомотор часто представляет единый узел вместе с усилителем, в особенности в гидравлических и пневматических устройствах.

Требования к исполнительным устройствам: линейное (угловое) перемещение согласуется с перемещением регулирующего органа; статическая характеристика должна быть по возможности линейной; сервомотор — реверсивный, с рабочими органами минимальной массы; мощность должна обеспечивать заданную скорость перемещения на любых режимах.

9.1. Гидравлические и пневматические исполнительные устройства

Наибольшее распространение в технике получили поршневые, лопастные сервомоторы и гидромоторы, схемы которых приведены на рис. 9.1. Поршневые (плунжерные) подразделяются на сервомоторы двустороннего (двуполостные) (рис. 9.1, *а*) и одностороннего (однополостные) (рис. 9, 1, *б*) действия. Обратное движение штока односторонних сервомоторов с переменной или постоянной скоростью осуществляется с помощью пружины *1* или противовеса *2*. Для преобразования поступательного движения поршня во вращательное в конструкцию сервомотора вводят кривошипно-шатунный механизм (рис. 9.1, *в*), что удобно для привода заслонок, кранов и т. д. На рис. 9.1, *а* показан плунжерный исполнительный механизм, характеризующийся $D \ll S$. Лопастные сервомоторы (рис. 9.1, *г*) позволяют получить непосредственно вращательное движение выходного вала, на котором закреплена лопасть, плотно пригнанная к соприкасающимся поверхностям корпуса. Давление рабочей жидкости в полости, например *А*, на боковую поверхность заставляет повернуться лопасть на угол до 5 рад. Гидромоторы конструктивно не отличаются от насосов роторно-поршневого, аксиального и лопастного типов, обладающих свойством обратимости. В таком режиме может работать и зубчатый

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

насос с зацеплением соответствующего профиля (рис. 9.1, *д*). Разновидностью гидромотора является тростер, принцип действия которого виден из схемы на рис. 9.1, *е*. Микронасос *3*, установленный внутри цилиндра, попеременно перекачивает жидкость в соответствующую полость под воздействием электрического сигнала x на микроэлектродвигатель *4*.

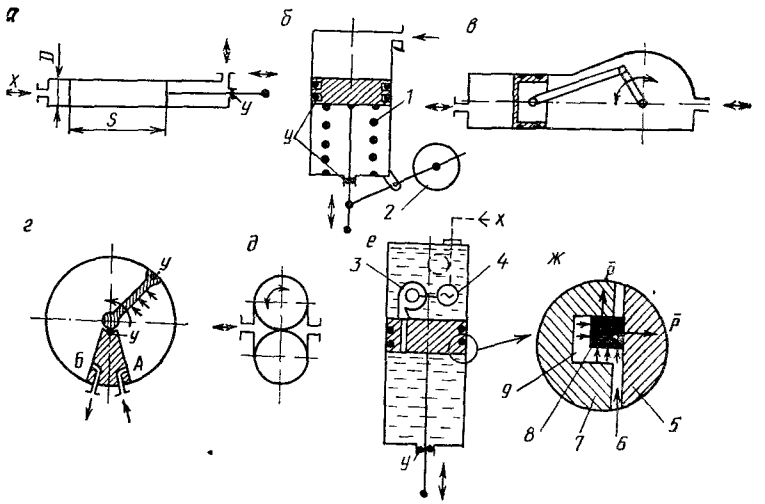


Рис. 9.1

Важную роль в конструкциях гидравлических исполнительных устройств играют уплотнения, позволяющие свести до минимума утечки, отрицательно влияющие на функционирование систем автоматики. В качестве уплотнений *У* используют эластичные манжеты, резиновые уплотнительные кольца, сальники и поршневые кольца. На рис. 9.1, *ж* показан принцип действия поршневого кольца; по аналогии действует и кольцевое резиновое уплотнение. Эффект достигается за счет рабочего давления в самом цилиндре *5*, которое в силу наличия зазора *6* действует на свободные поверхности кольца *8*, и равнодействующие $\bar{p}$ прижимают кольцо к поверхностям цилиндра и выточке *9* в поршне *7*.

Подавляющее большинство пневматических сервомоторов — мембранного типа одно- и двуполостные с возвратом от пружин или противовеса. Встречается и

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

сильфонный привод, но для малых перестановочных усилий. В последнее время стали применяться поршневые исполнительные механизмы, однако проблемой остаются трение и уплотнения в пневмоцилиндрах. Устройство пневматического мембранного сервомотора показано на рис. 9.2. Сервомотор с мембраной *1*, штоком *2*, возвратной пружиной *3*, уплотнением сальниковым или лабирин-

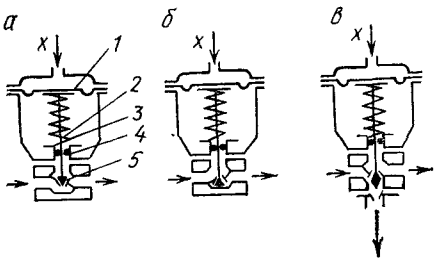


Рис. 9.2

товым *4* изготовлен в комплекте с регулирующим органом — клапаном *5*, проходным (рис. 9.2, *а* и *б*) и трехходовым (рис. 9.2, *в*).

9.2. Электрические исполнительные устройства

Среди электрических сервомоторов, получивших наибольшее распространение в автоматике, следует назвать электродвигатели и электромагниты.

По устройству и принципу действия электрические двигатели классифицируют на асинхронные, синхронные и коллекторные. Асинхронные и синхронные являются двигателями переменного тока, коллекторные могут работать на переменном или постоянном, а универсальные на переменном и постоянном токе. Асинхронные двигатели применяют для приводов с регулируемой и постоянной частотой вращения, синхронные — для приводов с постоянной частотой вращения. Двигатели постоянного тока широко используются для приводов с регулируемой частотой, коллекторные переменного тока — в системах, где требуется частота вращения, превышающая 3000 мин$^{-1}$, при промышленной частоте тока 50 Гц.

В качестве сервопривода применяют асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором (в виде бели-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

чьей клетки). Специфика использования электродвигателей в качестве сервомоторов определяет и характер предъявляемых к ним требований в отношении реверсивности, изменения частоты вращения и устойчивости в широком диапазоне, линейности статической характеристики, большого пускового момента, самоторможения при снятии сигнала управления, быстродействия, малых габаритов и массы.

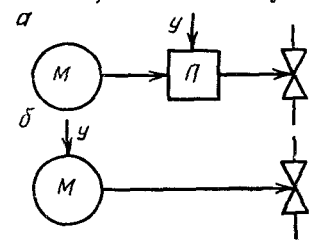


Рис. 9.3

В зависимости от сочетания электродвигателя и регулирующего органа различают две основные структурные схемы электрических сервомоторов (рис. 9.3). Различие в них определяется степенью несоответствия быстроходности и вращательного движения сервомотора тихоходности и поступательному, реже вращательному движению затвора регулирующего органа. Поэтому в конструкциях появляются дополнительные узлы: передачи (редукторы, муфты) различных типов, конечные выключатели для останова сервомотора по достижении затвором крайних или заданных положений (элементы обратной связи). При неуправляемом или плохо управляемом двигателе управляющее воздействие *у* прикладывается к передаче (рис. 9.3, *а*), схема на рис. 9.3, *б* предполагает наличие управляемого двигателя.

Долгое время большинство электродвигателей выпускались быстроходными, что создавало определенные трудности при сочленении с регулирующими органами. Появление моторов с малой скоростью вращения, например серии МЭО, которые совершают один оборот за 40, 100, 250 и 630 с, позволило значительно усовершенствовать технику автоматизации. Разработана серия унифицированных исполнительных механизмов блочно-модульной конструкции.

Компоновка электрических сервомоторов традиционна (рис. 9.4, *а*). В корпусе из легкого сплава, разделенном на три отделения *Э, Р, К,* размещаются соответственно электродвигатель, редуктор и блок *SQ* конечных (предельных) выключателей. Электрическая схема (рис. 9.4, б) представлена на примере сервомотора типа ДР-1М, широко применяемого при автоматизации сан-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

техсистем. От нее практически не отличается компоновочная схема исполнительного механизма типа ПР, имеющего два электродвигателя. ДР предназначен для двухпозиционного, ПР — пропорционального регулирования.

Электромагнитные приводы применяются для приведения в действие регулирующих органов с поступательным движением затвора — клапанов, задвижек, золотников. Чаще всего используется прямоходовой электромагнит с втягивающимся якорем, или соленоид (рис. 9.5, *а*), хотя возможны и конструкции с притягивающимся (рис. 9.5, *б*) и поворотным (рис. 9.5, *в*) якорем. Электромагнитные сервомоторы работают в позицион-

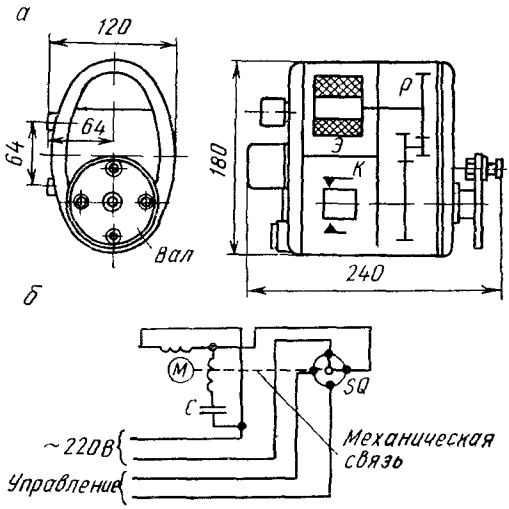


Рис. 9.4

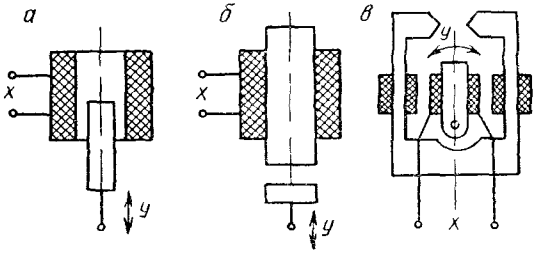


Рис. 9.5

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ном (релейном) режиме — открыто—закрыто, но существуют и многопозиционные исполнительные устройства.

Глава 10. ЗАДАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

Для расширения эксплуатационных возможностей управляющих устройств и регуляторов, а также задания исходного значения регулируемой переменной используются задающие устройства, или задатчики. Как указывалось ранее, задающее воздействие определяет характер алгоритма функционирования АСР. Ввод задающего воздействия может осуществляться вручную, полуавтоматически (часовым механизмом) и с помощью вычислительной техники (рис. 10.1).

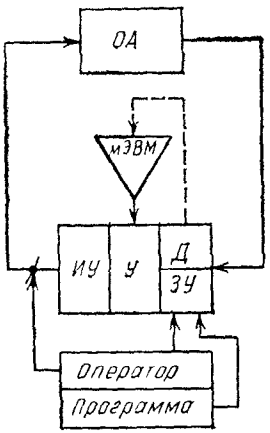


Рис 10 1

10.1. Классификация регуляторов по характеру задающего воздействия

Регуляторы-стабилизаторы характеризуются однократным вводом задающего воздействия на длительный промежуток времени. В самом простом случае это может быть однорежимный регулятор-стабилизатор, рассчитанный на поддержание в процессе всей эксплуатации только одного значения регулируемой переменной (регулятор давления в противогазе). Большинство регуляторов-стабилизаторов — многорежимные устройства, имеющие задатчики и представляющие самую значительную группу автоматических устройств в технике.

В ряде производств технологические процессы носят прерывистый характер с заданными переменными значениями регулируемой величины. Задающее воздействие вносится многократно в соответствии с заранее заданной функцией времени. Подобную задачу выполняет программный регулятор. Например, изменение подачи газа в технологическую печь производится в

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

зависимости от времени нахождения изделий при заданной температуре в различных циклах — нагрева, выдержки, охлаждения и т. п.

В отдельных случаях определенная программа не может обеспечить необходимое качество протекания технологического процесса. Требуется, чтобы регулируемая переменная менялась в зависимости от другой величины, от соотношения между ними. Одна величина должна следовать за другой, поэтому регулирующие устройства такого типа называют *следящими регуляторами*. В технике ТГВ таким примером является поддержание заданного коэффициента избытка воздуха в котельных установках путем обеспечения соотношения между расходом топлива и воздуха.

Самые сложные и совершенные автоматические регуляторы способны самостоятельно менять алгоритм функционирования. К их числу относятся *самоприспосабливающиеся*, или *самонастраивающиеся*, АСР, адаптирующиеся к изменениям, например, параметров объекта, регуляторов, внешних условий и т. п. Экстремальные АСР путем внесения пробных воздействий на объект и анализа его реакции обеспечивают отыскание таких регулирующих воздействий, при которых регулируемая величина достигает оптимального значения. Такие регуляторы называют оптимизаторами. К числу задач, решаемых подобными устройствами, может быть отнесена эксплуатация котла на максимальном КПД с минимальным расходом топлива или выбор скорости движения автомобиля с минимальным потреблением бензина.

Важнейшим качественным изменением в функционировании АСР явилось использование дискретной и цифровой техники, что в свою очередь привело к появлению в технике регулирования управляющих вычислительных устройств и микропроцессоров.

10.2. Основные виды задающих устройств

Задатчик формирует сигнал w, который сравнивается с сигналом x от датчика, т. е. вид сигнала определяется примененным в регуляторе датчиком. Чаще всего задатчик действует по принципу компенсации сил (перемещений) или электрических величин (реже — пневматических и гидравлических).

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Механические задатчики имеют, как правило, настроечную пружину с натяжным механизмом. На рис. 10.2, *а* изображена струйная трубка с воздействием от датчика — трубчатой пружины, на рис. 10.2, *б* — элементы регулятора уровня, в котором настройка осуществляется изменением плеча балансира *а*, положений поплавка и противовеса. Там же показаны вспомогательные задающие воздействия w_1 и w_2, которые используются для формирования рассогласования в более сложных регуляторах, например изодромных, с предварением.

Электрические задатчики представляют собой резисторы с переменным сопротивлением, переменные индуктивности и переключатели. Пример задающего устройства такого типа — резистор *RP* для настройки на желаемую температуру — показан в схеме терморегулятора (рис. 8.9). Формирование рассогласования в электрических схемах производится с использованием дифференциальных и мостовых методов включения.

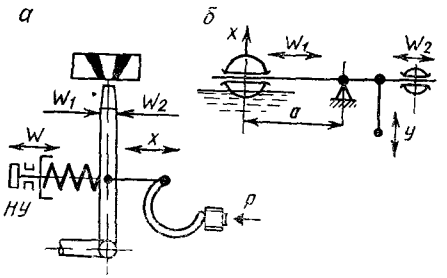


Рис. 10.2

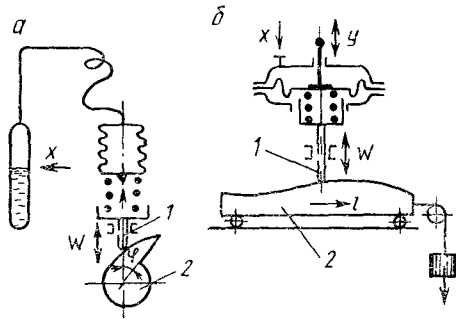


Рис. 10.3

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Для программных и следящих регуляторов одним из важнейших признаков задатчика является вид носителя программы или заданной функциональной зависимости — непрерывной или дискретной. Для наиболее часто применяемых в системах ТГВ регуляторов в задающих устройствах непрерывного действия используются кулачковые, лекальные и рычажные механизмы и функциональные резисторы (потенциометры).

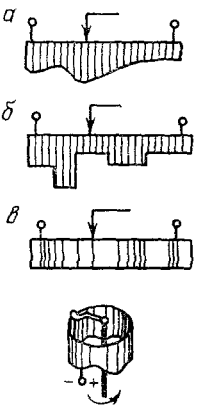


Рис. 10.4

На рис. 10.3 показаны схемы кулачкового и лекального механизмов, назначение которых состоит в преобразовании вращательного (рис. 10.3, *а*) и поступательного (рис. 10.3, *б*) движений носителей программы *2* в поступательное движение толкателя *1*, связанного с регулятором. Расчет кулачка (лекала) сводится к нахождению функций $w=f(\varphi)$ или $w=f(l)$ в зависимости от конфигурации поверхности носителей программы. На рис. 10.3, *а* показано задающее устройство регулятора температуры домашнего холодильника, схема на рис. 10.3, *б* реализуется в регуляторах горения котельных установок.

Преобладают функциональные потенциометры поворотного типа с использованием зависимости сопротивления от угла поворота. Форма каркаса определяет программу. Профильные (рис. 10.4, *а*), ступенчатые (рис. 10.4, *б*) и с переменным шагом (рис. 10.4, *в*) потенциометры могут быть изготовлены угольными и с намоткой проволоки. С известным допущением к группе задающих устройств можно отнести корректирующие элементы для ввода в регулятор вспомогательных сигналов, необходимых для придания АСР требуемых статических и динамических свойств.

10.3. АСР и микроЭВМ

В АСР все шире используются управляющие электронные вычислительные машины, которые сравнивают измеряемые параметры процесса с эталонными, хранимыми в запоминающем устройстве ЭВМ, и на этой ос-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

нове формируют управляющее воздействие (см. рис. 10.1).

Современные ЭВМ дают возможность проектировать быстродействующие АСР с большим объемом памяти, позволяющие обслуживать несколько технологических процессов. Однако ЭВМ общего назначения пока еще дороги, а для регулирования нескольких связанных процессов необходимы линии связи, что в целом значительно удорожает АСР.

Появившиеся в 70-х годах микроЭВМ и микропроцессоры (МП) являются высокопроизводительными и более дешевыми вычислительными элементами, предназначенными для массового выпуска в качестве универсальной компонентной основы вычислительной техники. МП имеют в своем составе компактные однотипные блоки, которые можно настраивать на необходимые вычислительные функции и создавать на их основе узкоспециализированные АСР.

Микропроцессор создается на основе одной или нескольких больших и сверхбольших интегральных схем (БИС и СБИС), позволяющих размещать большое число транзисторов на одной кремниевой подложке (в одном кристалле). Микропроцессоры можно разделить на однокристальные, узлы которых расположены в одном кристалле, и микропроцессорные комплекты с расположением в разных кристаллах. В Советском Союзе и за рубежом выпускается значительное количество МП, на основе которых можно создать компактные микроЭВМ, используемые в различных отраслях народного хозяйства, в научно-исследовательской работе и т. д.

За рубежом разработкой и выпуском микропроцессоров заняты известные фирмы «Intel», «Motorola» (США), «Siemens» (ФРГ) и др. В настоящее время налажен выпуск отечественных МП типов К580, КР580, К581, КР582, К583, КР584, КР588, К584, К587, К588, К589, U83-К1883 и других, различающихся между собой техническими характеристиками и функциями. На основе МП создаются микропроцессорные системы, микроЭВМ, которые используются в системах автоматического регулирования, поиска, связи и т. д. Выпускаемые в настоящее время МП могут обрабатывать 2-, 4-, 8-, 16-разрядную числовую информацию. Для увеличения разрядности предусмотрена возможность последовательного соединения МП.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

На рис. 10.5 показана упрощенная структурная схема микроЭВМ, построенная на базе МП, входящих в состав центрального процессора *ЦП*. Как видно из схемы, дополнительно к *ЦП* состав микроЭВМ пополняется устройствами ввода и вывода информации.

Общей для указанных видов микропроцессоров является структура *ЦП*, в основные *МП*-блоки которой

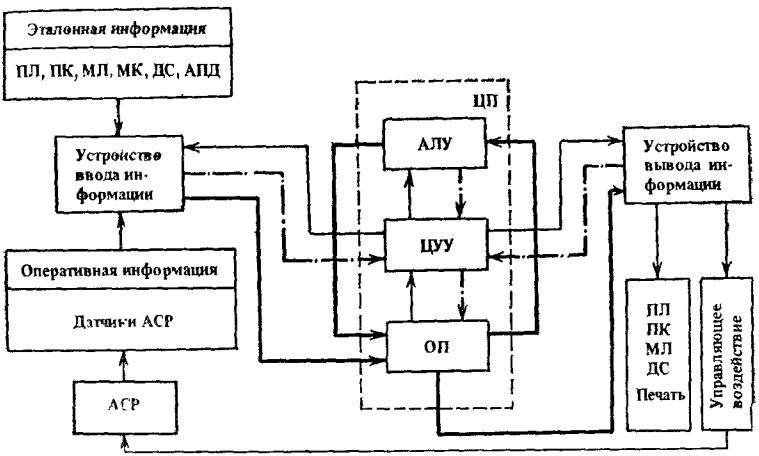


Рис. 10.5

входят: *АЛУ* — арифметико-логическое устройство, *ЦУУ* — центральное устройство управления и *ОП* — оперативная память.

АЛУ служит для выполнения арифметических и логических операций, выработки сигналов управляющего воздействия и выходной информации. *ЦУУ* может состоять из отдельных функциональных *МП* и служит для организации выборки команд данных из *ОП*, дешифровки команд и управления последовательностью арифметических и логических операций в *АЛУ*. *ОП* предназначена для хранения вводимой информации, а также промежуточных и окончательных результатов вычислений. Жирные линии связи показывают информационные каналы (шины данных), тонкие — управляющие каналы, пунктирные — каналы обратных связей — ответных сигналов о выполнении команд. Источниками эталонной информации могут быть перфоленты *ПЛ*, перфокарты *ПК*, магнитные ленты и карты *МЛ* и *МК*,

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

дисплеи *ДС* и прочая аппаратура передачи данных *АПД*. Обращение к оперативной и внешней памяти осуществляется по адресам, но предусматривается также возможность работы с магазинной (стековой) памятью, при обращении к которой не требуется указания адреса.

Выполнение каждой команды в *МП* определяется последовательностью управляющих сигналов, вырабатываемых *ЦУУ*. Команды могут записываться в таком же виде, в каком они будут храниться в памяти, например в виде двоичных кодов. При программировании используется символическое изображение всех частей (полей) команд. Такие программы преобразуются в двоичный код вручную или автоматически с помощью специальной программы перевода. Двоичное представление команд называется машинным языком, кодирование комаид в машинном коде — программированием.

Для программирования задач применяется язык АССЕМБЛЕР и языки более высокого уровня: ФОРТРАН, Паскаль, ПЛ/1, БЕЙСИК. Для перевода программы с языков высокого уровня применяют трансляторы, называемые компиляторами. При трансляции программы с языка высокого уровня на язык машинных команд каждое предложение исходного языка порождает несколько машинных команд, тогда как для АССЕМБЛЕРа в основном соблюдается соотношение один к одному. Поэтому программы, написанные на языках высокого уровня, оказываются значительно компактнее.

Пример реализации автоматизации управления приточной вентиляционной установкой 2ПК-10 с помощью МП, разработанной Минскпроектом, показан на рис. 10.6, *а*. МикроЭВМ анализирует поведение объекта, получая внешнюю информацию от датчиков температуры *TE(1)...TE(3)* о температурах наружного и внутреннего воздуха $\theta_н$ и $\theta_в$ и обратного теплоносителя $\theta_т$. Результатом логических операций является формирование управляющих воздействий на регулирующие органы *Y1...Y4* и электродвигатель *М* вентилятора. *Y1* и *Y2* управляют соотношением свежего и рециркуляционного воздуха, *Y3* — степенью вытяжки, *Y4* — теплопроизводительностью воздухонагревателя.

На рис. 10.6, *б* показана схема алгоритма работы микропроцессора, где *1* — считывание сигнала датчика *TE(1)*; *2* — определение режима работы (*л* — летний, *з* — зимний); *3* — сигнал на закрытие *Y2, Y4* и открытие

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

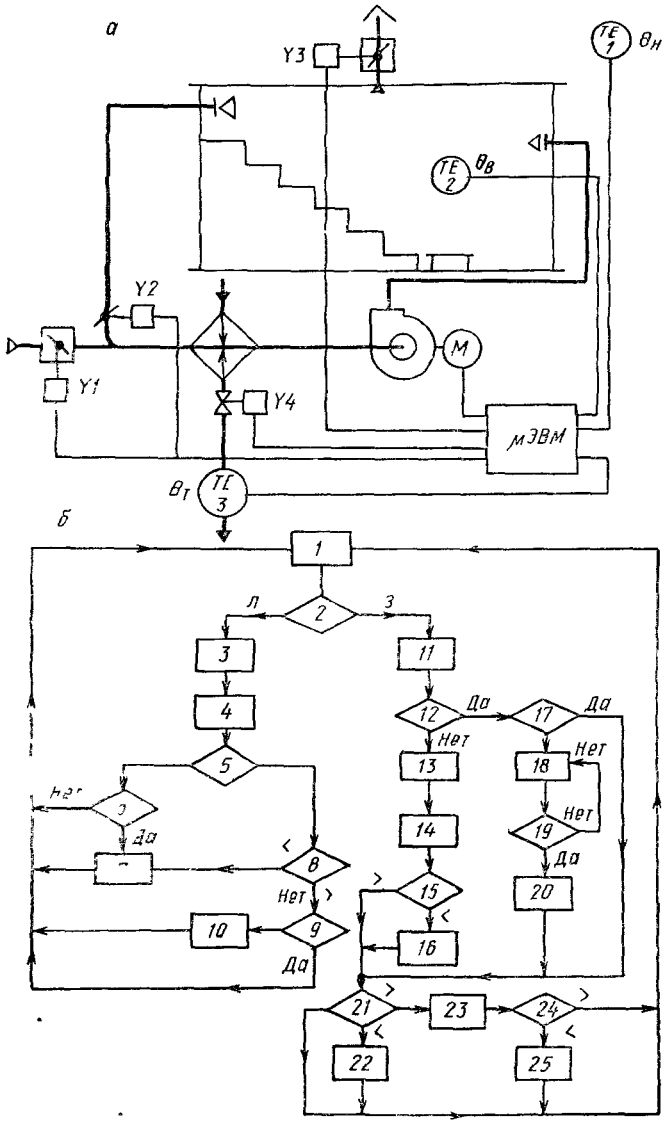


Рис. 10.6

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Y3; 4 — анализ текущего времени; *5*—рабочее время (?); *6* — работает вентилятор (?); *7* — сигнал на выключение вентилятора; *8* — разность $\theta_в$—$\theta_н$ больше или меньше 3 °С (?); *9* — работает вентилятор (?); *10* — сигнал на включение вентилятора; *11* — сигнал на открытие *Y2* и закрытие *Y3; 12* — рабочее время (?); *13* — выключение вентилятора; *14* — сигнал на закрытие *Y4; 15* — температура $\theta_т$ больше или меньше +25 °С (?); *16* — сигнал на открытие *Y4; 17* — работает вентилятор (?); *18* — сигнал на открытие *Y4; 19* — температура $\theta_т$ достигла +65 °С (?); *20* — включение вентилятора; *21* — температура $\theta_в$ больше, меньше, равна заданной (?); *22* — сигнал на открытие *Y4; 23* — сигнал на закрытие *Y4; 24* — температура $\theta_т$ больше или меньше +25 °С (?); *25* — сигнал на открытие *Y4.*

При необходимости алгоритм может быть усложнен за счет подачи сигналов от газоанализатора ТП 2221М о содержании двуокиси углерода в помещениях.

Выбор лучшего варианта управления по температуре воздуха в трех—пяти базовых помещениях с учетом более точного определения сроков отопительного периода, колебаний температуры теплоносителя, реального рабочего времени позволяет снизить нагрузку приточной камеры с экономией тепловой и электрической энергии. Несмотря на некоторое повышение капитальных затрат (в перспективе будут снижаться), приведенные и годовые эксплуатационные затраты оказываются меньшими, что дает по сравнению с типовой схемой автоматизации экономический эффект.

Глава 11. РЕГУЛИРУЮЩИЕ ОРГАНЫ

Регулирующий орган (РО) — элемент в цепи воздействий, оказывающий непосредственное влияние на управляемый объект. Это воздействие может осуществляться изменением количества энергии (вещества), проходящего через объект, либо путем изменения характеристик (режима) объекта. В первом случае на объект влияют распределительные органы, во втором — регулирующие устройства. Функциональные и конструктивные признаки регулирующих органов зависят от вида рабочей среды (жидкость, газ, электроэнергия и т. п.) и назначения объекта. Как правило, распределительные органы кон-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

структивно не связаны с объектом, тогда как регулирующие устройства обычно являются частью его конструкции.

11.1. Характеристики распределительных органов

В функцию распределительных органов входит изменение расхода различных рабочих сред. Их называют дроссельно-регулирующей арматурой. По назначению

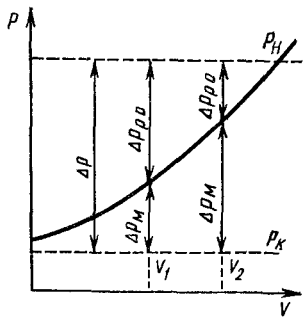


Рис. 11.1

последняя подразделяется на запорную, дроссельно-регулирующую, предохранительную и специальную. Термин «дроссельно-регулирующая» несколько условен, так как процессы регулирования в гидросистемах почти всегда сопровождаются дросселированием, за исключением дозирующих устройств, на которых поддерживается постоянный перепад давлений регулируемой среды. Дроссельными называют регулирующие органы, для которых характерно уменьшение перепада давлений, т. е. относительно большая потеря энергии среды. Распределительный орган перераспределяет потери давления в магистрали $\Delta p_м$ и в самом органе $\Delta p_{р.о}$, что показано на рис. 11.1 ($p_н$ и $p_к$ — начальное и конечное давление в объекте). Суммарные потери давления Δp, оставаясь постоянными, делятся на различные составляющие в зависимости от степени открытия дросселя (расхода V). Дроссельно-регулирующие органы представляют собой сложные местные сопротивления, в которых изменяется геометрия проходного сечения, параметры среды, режимы течения, появляется кавитация и др.

Основными характеристиками распределительных регулирующих органов являются:

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

условный проход D_y — номинальный внутренний диаметр входного патрубка;

условное давление p_y — наибольшее рабочее давление, допускаемое при заданных температуре рабочей среды и материале арматуры;

условный ход s_y — ход затвора РО от полного открытия до полного закрытия (для поворотных РО — угол поворота α_y);

коэффициент местного сопротивления при полном открытии ζ;

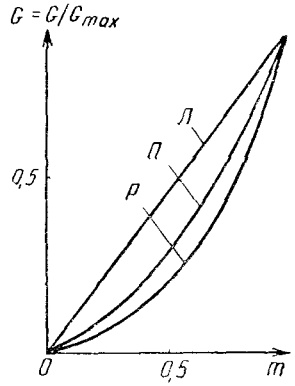


Рис. 11.2

степень открытия m — отношение текущего значения хода s или угла поворота α к условному: $m=s/s_y=\alpha/\alpha_y$);

пропускная способность K — массовый расход жидкости с плотностью $\rho=1$ т/м^3 при перепаде давления $\Delta p=0{,}1$ МПа;

расходная характеристика $G=f(s)$ или $G=f(m)$ — зависимость расхода от положения затвора регулирующего органа. На рис. 11.2 показаны типичные формы расходных характеристик ($Р$ — равнопроцентная, $П$ — параболическая и $Л$ — линейная), из которых наилучшее качество регулирования обеспечивают линейная и равнопроцентная. В ряде случаев используется пропускная характеристика $K=f(m)$;

конструктивная характеристика $F=f(m)$ — зависимость площади проходного сечения от степени открытия, которая определяет форму расходной характеристики. Выбор вида конструктивной характеристики называют профилированием регулирующего органа.

11.2. Основные типы распределительных органов

В зависимости от конструкции затвора РО принято классифицировать по характеру перемещения подвижных элементов затвора: на арматуру с перемещением затвора параллельно потоку (клапаны и золотники), перпендикулярно к потоку (шиберные задвижки), с вращением затвора (поворотные заслонки, краны) и со сжатием проходного канала (шланговые и диафрагмовые клапаны). На рис. 11.3, *а* показана схема односе-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

дельного проходного клапана, на рис. 11.3, *б* — двухседельного углового, рис. 11.3, *в* — поворотной заслонки, рис. 11.3, *г* — плунжерного клапана. Примерные расходные характеристики тарельчатого и конического клапанов показаны на рис. 11.4, *а*, профильного клапана и золотника — на рис. 11.4, *б* и поворотного золотника (крана) — на рис. 11.4, *в*. Двухседельные, или двухпоточные,

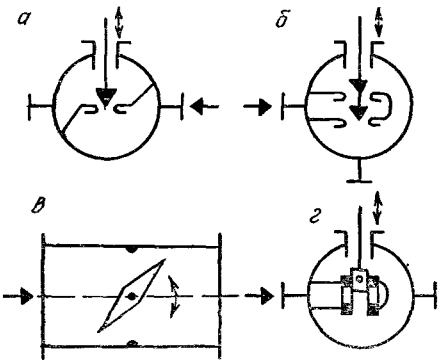


Рис. 11.3

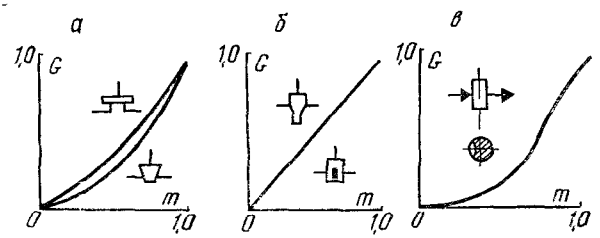


Рис. 11.4

конструкции обладают меньшим сопротивлением и почти разгружены от перепада давлений на затвор, чем уменьшается требуемое перестановочное усилие. Регулирующий орган может работать по схеме НО (нормально открытый) и НЗ (нормально закрытый), критерием служит отсутствие управляющего воздействия. Как правило, регулирующий орган не должен выполнять функцию запорной арматуры, хотя в последнее время в целях сокращения номенклатуры изделий совмещают обе его функции.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

11.3. Регулирующие устройства

Как известно, изменение расхода в системе может быть достигнуто воздействием на сеть, включая распределительные регулирующие органы, и на управляемые гидравлические машины. Поле статических характери-

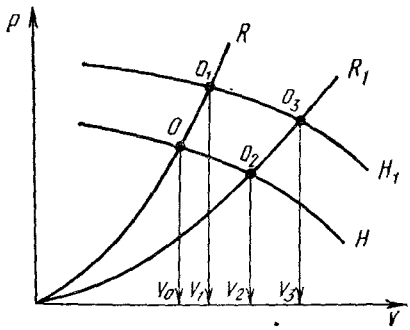


Рис. 11.5

стик в координатах $p—V$ показано на рис. 11.5, из которого видно, что режимная точка O, определяющая заданный расход, может изменять свое положение за счет изменения сопротивления системы R и характеристики нагнетателя H. Управляющее воздействие может быть осуществлено за счет изменения поворота лопаток рабочего колеса и направляющего аппарата, изменения частоты вращения колеса, отжатия нагнетательных клапанов, переключения цилиндров и других мероприятий. Например, регулирование разрежения в топке котла осуществляется воздействием на направляющий аппарат дымососа или автоматическую гидромуфту его привода. В турбинах регулирующим устройством служит сопловой аппарат, неразрывно связанный с конструкцией турбины, в котельных установках при сжигании жидкого топлива регулирующим устройством может быть турбофорсунка, твердого топлива — шурующая планка. В случае, когда регулируемой является электроэнергия, например при наличии электрокалориферов, роль РУ выполняют различные релейно-контакторные устройства, реостаты, трансформаторы и т. п. Распознавание регулирующего устройства в сложной схеме полностью зависит от четкого представления о функционировании конкретного технологического процесса.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

11.4. Статические расчеты элементов регуляторов

Главной целью статнческих расчетов является определение статических характеристик. Помимо этого в задачу расчетов входит установление конструктивных величин элементов (жесткостн пружин, площади мем-

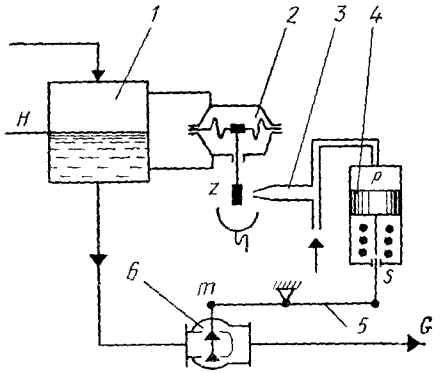


Рис. 11.6

бран, плеч рычагов, геометрических размеров и др.), проведение прочностных, гидравлических и электротехнических расчетов. Должны быть также найдены настроечные величины, такие, как коэффициенты усиления, динамические постояниые и т. д.

В ходе расчета можно исходить из желаемого вида статической характеристики и определять конструктивные и настроечные параметры или путем анализа определять последние и проверять их соответствие требуемой статической характеристике. Статическим расчетам предшествует составление функциональной и конструктивной схем регулятора с нанесением основных размеров и значений параметров. На основании статических характеристик отдельных элементов может быть найдена регулировочная или режимная характеристика всей системы.

Покажем на примере принцип статического расчета графическим путем простейшей АСР уровня в конденсатосборнике. Принципиальная схема представлена на рис. 11.6. Мембранный датчик *2* воспринимает перепад давлений в баке в зависимости от высоты столба жидкости H и перемещает заслонку гидроусилителя *3* на

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

величину z. В результате изменения давления p поршень сервомотора *4* перемещается на расстояние s и через передачу *5* переставляет на m затвор регулирующего клапана *6*, изменяющего расход G, что приводит к восстановлению равновесного состояния в системе.

Построим статические характеристики элементов, откладывая на оси абсцисс значения входных величин,

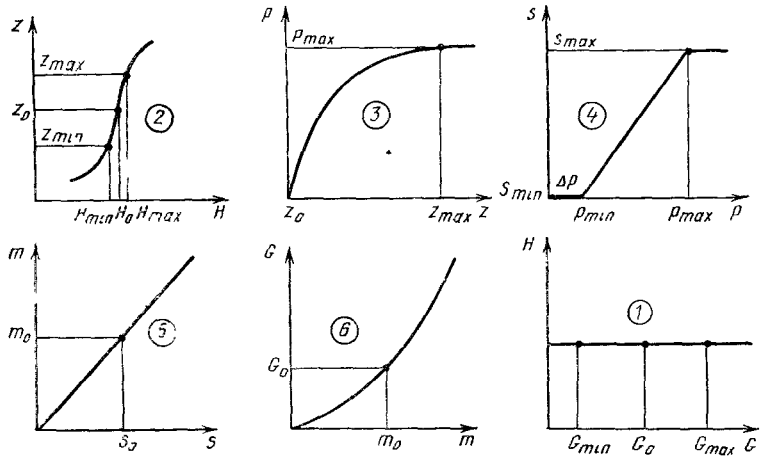


Рис. 11.7

на оси ординат — выходных (рис. 11.7). Для датчика входной величиной является изменение уровня H, выходной — линейное перемещение штока мембраны z, зависимость между которыми является характеристикой с рабочим участком z_{max}—z_{min}. Гидравлический усилитель представлен кривой $p=f(z)$, которая является частью известной характеристики (см. рис. 8.2, *б*) с координатами z — перемещение заслонки и p — давление в выходной магистрали, идущей к сервомотору. Форма зависимости $s=f(p)$ характерна для сервомоторов одностороннего действия, сервомоторы двустороннего действия имеют астатическую зависимость $w=f(p)$, где s — перемещение штока, w — скорость перемещения поршня. Идеальная характеристика сервомотора — линейная, реальная ступенчатого вида — представлена на рис. 11.7, где Δp — давление страгивания подвижных частей устройств. В случае, если между сервомотором и клапаном предусматривается передаточный механизм, то его

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

характеристика $m=f(s)$, например для равноплечего рычага, имеет линейный вид. Статическая характеристика $G=f(m)$ регулирующего органа принята равнопроцентной.

Если равновесное состояние системы характеризуется значением параметра H_0, то можно, последовательно переходя от одной характеристики к другой, получить соответственно значения z_0, p_0, s_0, m_0 и G_0. Задаваясь максимальным и минимальным отклонениями, аналогичным образом получают предельные значения всех величин, показанных на схемах, и после этого строят статическую характеристику регулирования, или регулировочную характеристику, $H=f(G)$, которая представляет собой взаимосвязь качественного и количественного параметров в системе. Это недостающая часть в информационном обеспечении системы, замыкающая цепочку воздействий при прохождении сигнала по контуру регулирования. Она соответствует внутренней физической обратной связи в объекте регулирования или на регулируемом участке. Ее горизонтальная конфигурация в известной мере условна. Форма статических характеристик элементов принята из практики регулирования. Совершенствование вида регулировочной характеристики зависит от характеристик отдельных устройств, которые могут быть рассчитаны или получены экспериментальным путем. Для компактности построения характеристики могут быть совмещены по квадрантам.

Глава 12. АВТОМАТИЧЕСКИЕ РЕГУЛЯТОРЫ

Автоматическим регулятором называется устройство или совокупность устройств, воздействующих на объект управления таким образом, чтобы текущее значение регулируемой величины было равно заданному или изменялось по заданному алгоритму. Существующая классификация регуляторов сложна и разноречива, что объясняется отождествлением понятий регулятор и система регулирования. Поэтому будем классифицировать отдельно автоматические регуляторы, как функциональные устройства, и автоматические системы, рассматривая взаимосвязи характеристик объекта и регулятора.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

12.1. Классификация автоматических регуляторов

Классификация автоматических регуляторов осуществляется по следующим признакам:

по назначению в зависимости от поставленной цели управления и объекта управления — на регуляторы управления станками, кондиционерами, движением транспортных средств и т. д.;

по виду входной регулируемой величины различают регуляторы давления, температуры, расхода и др.;

по числу входных величин — одномерные, одноточечные (поплавковый регулятор уровня), многомерные, многоточечные (регулятор отпуска теплоты на отопление, измеряющий температуру наружного и внутреннего воздуха);

по способу действия — прямого и непрямого действия;

по роду вспомогательной энергии регуляторы подразделяются на механические — гидравлические и пневматические, электрические (электронные) и комбинированные;

по числу исполнительных устройств — простого регулирования (один сервомотор) и сложного (несколько сервомоторов);

по характеру перемещения регулирующего органа — непрерывного и прерывистого действия;

по совместимости регуляторов различают несвязанное регулирование, когда они работают независимо, и связанное, когда требуется их определенное взаимодействие (регулирование в СКВ влажности и температуры воздуха, связанных технологическим процессом). Связанное регулирование называют автономным, если изменение одной из регулируемых величин не вызывает изменения остальных;

по конструктивному оформлению и области применения различают регуляторы индивидуальные (разработанные для конкретного объекта), специализированные (для группы однотипных объектов) и универсальные, предназначенные для автоматизации любых объектов с возможностью модификаций датчиков и регулирующих устройств.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

12.2. Основные свойства регуляторов

Независимо от особенностей классификации автоматическим регуляторам присущи определенные общие свойства.

Нечувствительностью регулятора называется диапазон изменения регулируемой величины, в котором регулятор не формирует выходного сигнала. Нечувствительность зависит от конструктивных особенностей элементов регулятора, сил трения и зазоров в соединениях устройств, изменения физических характеристик материалов под влиянием внешних условий и во времени (старение) и причин эксплуатационного характера. Нечувствительность влияет на форму характеристик отдельных элементов регулятора и, что особенно важно, на характеристику датчика. При рассмотрении статической характеристики AB мембранного датчика (рис. 12.1) видно, что на изменение давления $\pm\Delta p$ мембрана не реагирует. Рабочая точка O вместо перемещения в *1, 2* перемещается в *1′, 2′* и вместо линейной характеристики AB появляется поле характеристик, в зоне нечувствительности которого $p_2—p_1$ регулятор будет бездействовать. Количественную оценку нечувствительности производят в единицах параметра или в безразмерной форме в виде коэффициента или степени нечувствительности $\varepsilon=(p_2—p_1)/p_0$. Зона нечувствительности может смещаться по отношению к характеристике, т. е. быть симметричной, асимметричной, односторонней. При наличии нечувствительности других элементов регулятора $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \ldots, \varepsilon_n$ общая степень нечувствительности определяется, как сумма частных степеней.

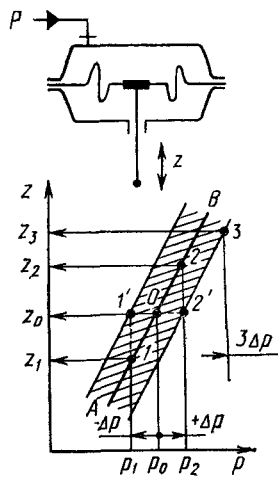


Рис. 12 1

С введением в систему управления автоматического регулятора статическая характеристика регулирования $x=f(Q)$ из произвольного положения переходит в предопределенное. Задача регулирования сводится к поддержанию заданного значения регулируемой переменной

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

при различных нагрузках. Вместе с тем, не всегда нужно, а в некоторых случаях и невозможно поддерживать параметр постоянным.

Неравномерностью регулирования называется изменение регулируемой величины при изменении нагрузки от минимальной до максимальной, которое необходимо для перемещения регулирующего органа из одного

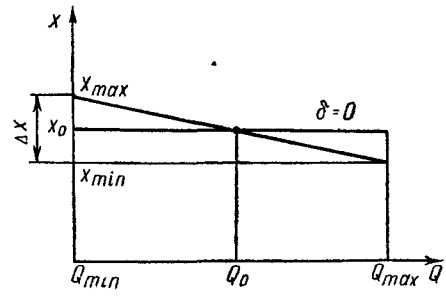


Рис. 12 2

крайнего положения в другое. Работе регулятора с неравномерностью $\Delta x = x_{max} - x_{min}$ соответствует наклонное положение статической характеристики (рис. 12.2). Коэффициент регулирования, или степень неравномерности, $\delta = \Delta x / x_0$ определяется эксплуатационными характеристиками, задается при проектировании и свидетельствует о точности поддержания параметра. Иногда неравномерность называют дифференциалом или зоной пропорциональности. Оптимальным вариантом является нулевая неравномерность, когда регулировочная характеристика горизонтальна. Для изменения неравномерности в регуляторах предусматриваются специальные настроечные устройства.

Регулировочная характеристика — часть общей режимной характеристики системы. Если в газомоторной установке поддерживается номинальное давление p_0 и ему соответствует номинальный расход V_0, то условно можно изобразить работу установки линией AOB в координатах p_∞, V_∞ (рис. 12.3). На координатном поле можно увидеть зоны с основными режимами эксплуатации: пусковым (из состояния покоя или с холостого хода); номинальным (рабочим режимом, или эксплуатационным); тормозным; стояночным, или консервационным; аварийным.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Работа установки в режиме A может соответствовать пусковому режиму (радиальный компрессор запускают при закрытых регулирующих органах, т. е. при $p_к$ и $V=0$) или аварийному (поршневой компрессор запускают при тех же условиях, и тогда при $V=0$ $p\to\infty$, точка A перемещается в бесконечность). Аналогично пусковому (аксиальный компрессор) или аварийному

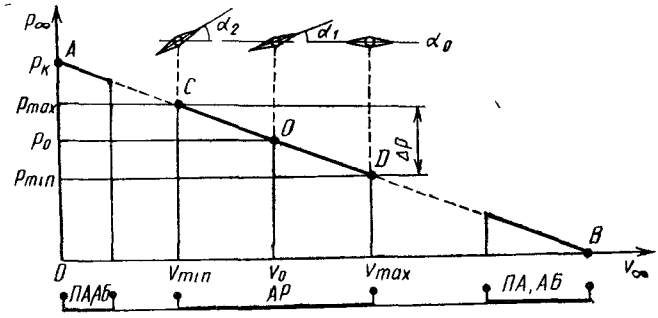


Рис. 12.3

(разрыв магистрали, $V\to\infty$) режимам можно рассматривать эксплуатационный режим B. Нормальная эксплуатация установки вблизи точек A и B осуществляется устройствами пусковой автоматики *ПА* и автоматики безопасности (защитной автоматики) *АБ*, которыми оборудуются объекты автоматизации. Работа установки в номинальном режиме (линия COD) обеспечивается автоматическим регулятором *АР* с неравномерностью или без нее. Этот участок составляет небольшую часть всей режимной зоны. На рисунке показаны также примерные положения регулирующего органа для различных режимов регулирования.

Автоматическому регулятору, как и объекту, присущи запаздывание и инерционность, влияющие на погрешность регулятора, т. е. разницу между действительным и нормируемым для данного устройства значениями регулируемой величины.

12.3. Регуляторы непрерывного и прерывистого действия

Независимо от устройства регулятора, числа элементов, входящих в его состав, характер воздействия регулятора на объект может быть различным. Ниже рас-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

сматривается разделение регуляторов по закономерности перемещения регулирующего органа и действию во времени.

На рис. 12.4 показан регулятор уровня, являющийся представителем группы регуляторов непрерывного действия. Основным признаком такого регулятора является постоянная функциональная связь между поплавком,

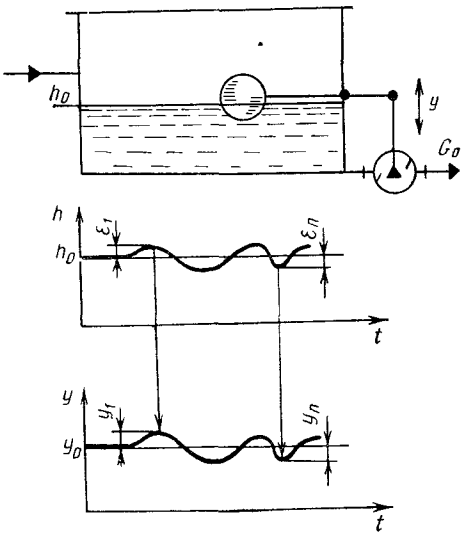


Рис. 12.4

рычагами и клапаном. При этом каждому значению рассогласования ε (положению датчика) соответствует определенное положение регулирующего органа y, что показано на графиках $h(t)$ и $y(t)$. Регуляторы непрерывного действия составляют большинство автоматических устройств. Основным их достоинством считается высокая точность поддержания значения параметра, четкая реакция на малейшие возмущения, что может быть и серьезным недостатком, так как регулятор влияет на функционирование объекта и в тех случаях, когда в этом нет необходимости.

В регуляторах прерывистого (дискретного) действия между элементами осуществляется непостоянная связь и регулирующий орган включается кратковременно за счет использования в конструкции нелинейных элемен-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

тов, например реле, шаговых искателей и т. д. Характерной особенностью является фиксированное положение регулирующего органа: при непрерывном изменении регулируемой переменной он занимает две и более позиции. Наиболее распространено двухпозиционное регулирование, при котором регулирующий орган, не останавливаясь в промежуточных положениях, сразу зани-

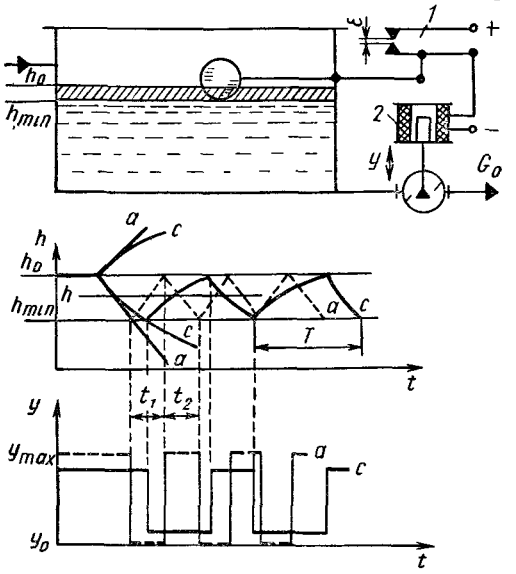


Рис. 12.5

мает крайние позиции. На рис. 12.5 в схему непрерывного регулятора введены нелинейные элементы — реле *1* и электромагнитный сервомотор *2*. Регулятор реагирует на опорожнение бака ниже уровня h_{min}, которому соответствует расстояние ε между контактами реле. В установившемся режиме клапан открыт полностью, в системе поддерживается расход G_0 и уровень h_0. При понижении уровня до h_{min} реле включает электромагнитный клапан, который закрывается, и бак начинает наполняться. Далее реле откроет клапан, и процесс с периодом T будет повторяться в зависимости от свойств объекта, настройки ε и характера возмущения. Регулятор работает в режиме «включено—выключено» или «да—нет», т. е. в релейном режиме. Поэтому двухпозицион-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ные регуляторы часто называют релейными. Если регулирующий орган полностью открывает или прекращает поступление рабочей среды в объект, то регулирование осуществляется полным притоком. Такой режим соответствует максимальному возмущению объекта и не всегда желаемой динамике процесса. Поэтому применяют регулирование неполным притоком, когда, например, клапан перемещается между крайними положениями на 1/4...3/4 полного открытия, но при этом существуют только два крайних положения, независимо от степени открытия.

Регулирование неполным притоком позволяет повысить плавность колебательных процессов, характеризующих прерывистое регулирование. Переходная характеристика $h(t)$ показана для статического объекта сплошной линией, для астатического — пунктиром. Процесс регулирования протекает внутри зоны нечувствительности $\varepsilon = h_0 - h_{\min}$, причем по соответствующей кривой разгона, характерной для данного объекта (a и c). Регулятор поддерживает некоторое усредненное значение h в пределах зоны нечувствительности, т. е. функционирует с меньшей точностью. Функция $y(t)$ имеет также ступенчатый вид, характерный для релейного закона воздействия (позиции полного открытия $y_{\max}$ и полного закрытия y_0 для статического объекта условно смещены). Период колебаний существенно зависит от зоны нечувствительности и динамической характеристики объекта.

Позиционный регулятор, имеющий три и более позиций регулирующего органа, приближается к непрерывному. Такие регуляторы называются многопозиционными и обеспечивают более качественное регулирование.

При импульсном, или шаговом (селекторном), регулировании регулятор включается кратковременно, корректировка регулируемой величины в соответствии с заданием происходит в определенные моменты. Такой процесс регулирования имеет место в АСР вентустановок и СКВ со ступенчатыми импульсными прерывателями (СИП). Двухпозиционные регуляторы успешно работают в объектах со значительной аккумулирующей способностью и малым запаздыванием, но в отдельных случаях могут применяться и для малоинерционных объектов. Благодаря простоте устройства они нашли широкое применение в технике, особенно при использовании электрических схем управления.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Глава 13. АВТОМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Основные элементы АСР — объекты и регуляторы — обладают рядом свойств и особенностей, которые могут способствовать или препятствовать функционированию системы в заданном режиме. Из этого следует, что автоматический регулятор должен определенным образом сочетаться с объектом регулирования для обеспечения правильного функционирования всей системы. Основным вопросом является оценка поведения АСР, отражающая специфику АСР разного назначения и структуры. Всякая АСР или АСУ выполняет две взаимно связанные функции, соответствующие двум состояниям или режимам, в которых может находиться система,— установившемуся и неустановившемуся. Свойства АСР в установившемся режиме рассматривает раздел теории, называемый статикой, в неустановившемся — раздел динамики регулирования.

Установившийся (стационарный, или статический) режим характеризуется материальным или энергетическим балансом объекта и неизменностью во времени воздействий, передаваемых системе, причем заданное значение управляемой величины не должно выходить за допустимые пределы. Установившимся может быть также назван режим, в котором управляемая величина имеет постоянные производные, т. е. изменяется с постоянной скоростью или ускорением.

Неустановившийся (нестационарный, динамический, или переходный) режим характеризуется вынужденным движением системы, когда управляемые величины и их производные отклоняются от установившихся значений. Неустановившийся режим имеет место при детерминированных и стохастических возмущающих воздействиях, которые могут быть приложены в различных точках системы. Примером может служить преднамеренный перевод объекта с одного режима на другой, например СКВ с летнего режима на зимний. Влияние внешних условий обусловливает нарушение статического режима СКВ, приводящее к процессу, определяемому случайными воздействиями. В ходе неустановившегося процесса система может возвратиться к прежнему, перейти к новому установившемуся или не возвратиться к установившемуся состоянию никогда.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Решение общей задачи статики и динамики АСР должно отвечать на два вопроса: как точно поддерживается регулируемая переменная и как быстро приходит или не приходит система к установившемуся состоянию? Ответы на эти вопросы надо давать обязательно во взаимосвязи и одновременно, так как система с большей точностью регулирования может иметь неудовлетворительные динамические свойства, и наоборот. При решении статических задач используют методы из области знаний, к которой принадлежит объект, динамические исследования производятся известными в механике аналитическими, экспериментальными методами и моделированием. При этом для решения задач может применяться метод анализа, когда для выбранной схемы и элементов определяются необходимые параметры, или метод синтеза, когда по известным заданным требованиям находят, какими должны быть схема и ее элементы.

13.1. Статика регулирования

Статические свойства системы обычно оценивают по ее статической (регулировочной) характеристике $x=f(Q)$. В зависимости от того, влияет на параметр возмущение или нет, т. е. от неравномерности, системы называют *статическими* ($\delta\neq 0$) или *астатическими* ($\delta=0$), и их характеристики c и a будут иметь вид, изображенный на рис. 13.1, *а*. Наряду с термином «коэффициент неравномерности» используются термины «статизм» и «коэффициент статизма» (тангенс угла наклона характеристики). В установившемся режиме статическую АСР можно характеризовать следующим образом: равновесное состояние (материальный или энергетический ба-

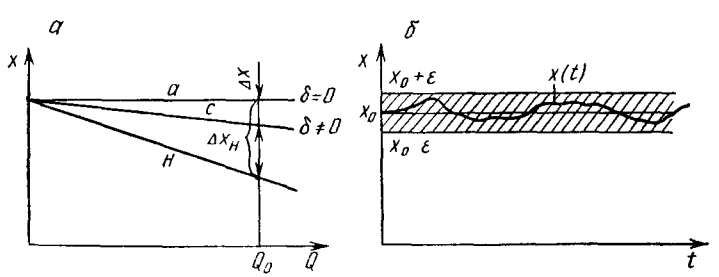


Рис. 13.1

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ланс при неподвижном регулирующем органе) может наступить при различных значениях регулируемой величины. При этом каждому значению регулируемой величины соответствует определенное положение регулирующего органа. В астатической АСР равновесное состояние наступает только при одном и том же значении

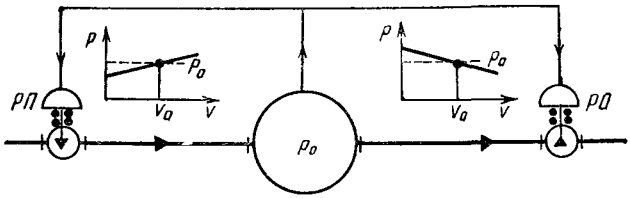


Рис. 13 2

регулируемой величины; регулирующий орган может занимать различные положения.

Главным показателем статических свойств системы является статическая ошибка, определяющая статическую точность регулирования $\Delta x = x - x_0$, где x — установившееся значение управляемой величины при данной нагрузке, x_0 — ее номинальное значение. При этом условием статического режима является $|x - x_0| \leqslant \varepsilon$, т. е. необходимо, чтобы зависимость $x(t)$ укладывалась в поле допуска $x_0 \pm \varepsilon$ (рис. 13.1, *б*). Для линейных АСР (к ним применим принцип суперпозиции — наложения воздействий) общая статическая ошибка определяется, как $\Delta x = \sum_{i=1}^{n} \Delta x_i$, где Δx_i — статические ошибки, обусловленные действием воспринимающего, задающего, сравнивающего и других элементов, а также влиянием возмущений различного рода.

Автоматический регулятор как бы поворачивает статическую характеристику системы в положение, когда статическая ошибка либо минимальна, либо задана значением ε. Эффективность автоматической системы можно оценить степенью точности $\gamma = \Delta x_н / \Delta x$, т. е. отношением статических ошибок в неавтоматизированном (характеристика *н*) и автоматизированном (*а* и *с*) объектах (см рис. 13 1, *а*). Статические характеристики могут иметь различный наклон, и в ответ, например, на увеличение нагрузки качественный параметр может увеличиваться или уменьшаться. На рис. 13.2 показано регули-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

рование давления в газгольдере регуляторами на подводе *РП* и на отводе *РО* с соответствующими характеристиками. Выбор астатической или статической АСР определяется обоснованными техническими требованиями точности, а реализация астатизма или статизма зависит от закона (алгоритма) регулирования, на основе которого действует автоматический регулятор.

13.2. Динамика регулирования

Реакцией объекта на возмущение является его динамическая характеристика, в соответствии с которой должна изменяться регулируемая величина. Объект переходит в неустановившееся состояние, по выходе из которого значение регулируемой величины может не удовлетворять заданному, если не будет применен автоматический регулятор, который должен возвратить объект и АСР в устойчивое состояние. Функционирование АСР складывается из ряда перемежающихся установившихся (Уст) и динамических (ПП) состояний (рис. 13.3).

Основной задачей динамики является оценка динамических свойств автоматической системы регулирования, которая может быть произведена аналитическим и экспериментальным путем. При аналитическом исследовании из дифференциальных уравнений движения отдельных звеньев составляется дифференциальное уравнение системы, которое интегрируют, и решение анализируется. В результате находят закон изменения $x(t)$ регулируемой величины. По нему определяют характер динамического процесса. Решение уравнения системы зависит от формы входного воздействия (возмущения), которую надо определить заранее. Операционным методом на основании передаточных функций отдельных звеньев можно найти передаточную функцию системы. Можно ис-

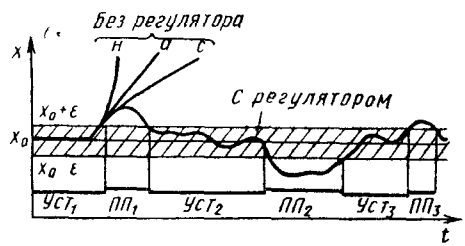


Рис. 13.3

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

пользовать амплитудно-фазовые частотные характеристики (АФЧХ), логарифмические амплитудно-частотные характеристики (ЛАЧХ), достоинством которых является возможность использования экспериментальных данных.

Покажем на примере методику нахождения передаточной функции для простейшей АСР. На рис. 13.4 при-

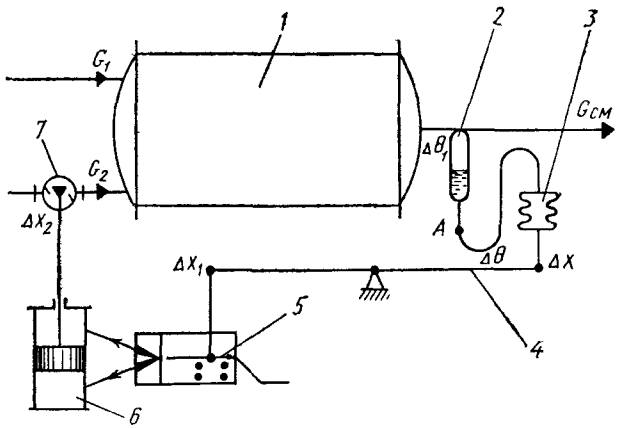


Рис 13.4

ведена схема регулирования температуры в смесительном теплообменнике *1* гидравлическим регулятором со струйной трубкой. Манометрический датчик *2* воспринимает изменение температуры на выходе из теплообменника, воздействуя на сильфон *3*, перемещающий рычажной передачей *4* струйную трубку *5*. Гидравлический сервомотор *6* перемещает затвор клапана *7* на магистрали теплоносителя, восстанавливая равновесный режим. На схеме показаны сигналы и необходимые расчетные величины.

Вначале составляется уравнение разомкнутой АСР, для чего контур воздействий мысленно разрывают в произвольной точке, например *A*, после термобаллона датчика. Зададимся приращением температуры $\Delta\theta$ и запишем уравнение датчика $(T_1 p+1)\Delta x(p)=K_1\Delta\theta(p)$, где T_1 — динамическая постоянная датчика; $\Delta x(p)$—перемещение сильфона; K_1—коэффициент передачи (смещение сильфона при нагревании на 1 °С). Для системы рычагов очевидно, что $\Delta x_1(p)=K_2\Delta x(p)$, где $1<K_2<1$ — ко-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

эффициент передачи балансира. Уравнение гидроусилителя с двусторонним исполнительным устройством имеет вид $p\Delta x_2(p)=K_3\Delta x_1(p)$, где K_3 — коэффициент передачи, характеризующий скорость поршня при единичном отклонении струйной трубки. Уравнение регулирующего органа при линейной характеристике клапана $\Delta Q(p)=K_4\Delta x_2(p)$, где ΔQ — приращение количества теплоты, соответствующее изменению расхода ΔG_2; K_4 — коэффициент передачи, характеризующий изменение температуры при единичном перемещении клапана. Уравнение объекта имеет вид $(Tp+1)\Delta\theta_1(p)=K_y\Delta Q(p)$, где T—динамическая постоянная; K_y — коэффициент передачи по управляющему воздействию. Перемножим соответственно правые и левые части уравнений звеньев и, произведя элементарные сокращения, получим $(T_1p+1)(Tp+1)p\Delta\theta_1(p)=K_1K_2K_3K_4K_y\Delta\theta(p)$. Имея в операторной форме подобную связь между входной $\Delta\theta$ и выходной $\Delta\theta_1$ величинами, получим передаточную функцию разомкнутой АСР:

$$W(p)=\Delta\theta_1(p)/\Delta\theta(p)=\prod_{i=1}^{5}K_i/((Tp+1)(T_1p+1))=$$

$$=K/((Tp+1)(T_1p+1)),$$

где K — коэффициент передачи системы.

Отсюда нетрудно найти характеристическое уравнение замкнутой АСР, считая $\Delta\theta(p)=-\Delta\theta_1(p)$. Тогда $(Tp+1)(T_1p+1)p+K=0$. Зная выражение для передаточной функции, можно оценить влияние параметров отдельных звеньев. Например, при увеличении длины капилляра от чувствительного элемента до сильфона в передаточную функцию необходимо ввести запаздывание τ:

$$W'(p)=Ke^{-p\tau}/((Tp+1)(T_1p+1)).$$

Если такой видоизмененный регулятор поставить на обычный теплообменник с разделением потоков, который аппроксимируется апериодическим звеном второго порядка, то передаточная функция будет иметь вид

$$W''(p)=Ke^{-p\tau}/((T'p+1)(T''p+1)(T_1p+1)p),$$

где T' и T'' — динамические постоянные многоемкостного теплообменника.

Из этого следует, что исследовать систему надо в

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

целом, а не отдельно объект и регулятор. Подобным образом поступают при наладке АСР. Составление математической модели АСР представляет довольно трудоемкую задачу. С усложнением техники регулирования и самих объектов только использование ЭВМ для расчетов при исследовании устойчивости АСР дает ожидаемый положительный результат.

13.3. Переходные процессы в АСР

Процесс установления в АСР равновесного состояния называется *переходным процессом,* а аналитическая или графическая зависимость, описывающая этот процесс,— переходной функцией. Вид переходного процесса (ПП) определяется структурой АСР, параметрами ее звеньев и характером возмущающего воздействия. Внешнее возмущение носит произвольный характер, но при исследовании АСР ограничиваются типовыми формами — скачкообразным, периодическим (гармоническим) и регулярным возмущениями.

Чтобы характер изменения регулируемой в ходе ПП величины удовлетворял заданным условиям, необходимо так подобрать параметры объекта и регулятора, чтобы обеспечивалась точная и быстрая «отработка» регулирующего или управляющего воздействия. Впервые научно обосновал необходимость исследования именно ПП проф. И. А. Вышнеградский в 1876 г. в основополагающей работе «Об общей теории регуляторов». Он же ввел понятие о скачкообразном изменении внешнего воздействия или управляющей величины от одного постоянного значения до другого (так называемый толчок). Работы И. А. Вышнеградского положили начало широким исследованиям динамики автоматического регулирования.

Математическая модель ПП имеет вид решения дифференциального уравнения вынужденного движения системы, которое обычно представляют в графической форме. Переходная функция может быть получена экспериментально, для чего система подвергается одному из типовых возмущающих воздействий, а измерительная аппаратура фиксирует изменения основных параметров. Главными критериями оценки ПП являются устойчивость и качество регулирования. Важнейшим требованием, предъявляемым к АСР наряду с функциональны-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ми техническими требованиями, является обеспечение устойчивости и качества регулирования, причем первоочередным является требование устойчивости.

13.4. Устойчивость регулирования

Способность АСР возвращаться к состоянию установившегося режима после устранения возмущения, нарушившего равновесие, называется *устойчивостью регулирования*. Условие, при котором соблюдается устойчивость, формулируется, как $\lim_{t\to\infty}|x(t)|\leqslant\varepsilon$. При этом в астатических системах устанавливается прежнее состояние равновесия, независимое от нагрузки, в статических— новое, отличающееся от прежнего тем больше, чем больше изменение нагрузки.

Если в замкнутом контуре воздействий АСР содержатся источники энергии, то при определенном соотношении параметров, будучи выведенной из состояния равновесия, система удаляется от него. Общая методика оценки устойчивости базируется на физической модели движения, включающей вынужденное (под действием возмущения или управления) и свободное движение системы. Пусть уравнение разомкнутой системы в общем виде будет представлено так:

$$(a_0p^n + a_1p^{n-1} + a_2p^{n-2} + \ldots + a_n)\Delta y(p) = K\Delta x(p).$$

Уравнение замкнутой АСР будет иметь вид

$$a_0p^n + a_1p^{n-1} + \ldots + a_n + K = 0,$$

так как $y(p) = -x(p)$. Это уравнение называется характеристическим и является тождественной математической моделью свободного движения. Решение этого однородного уравнения:

$$x(t) = C_1e^{\omega_1 t} + C_2e^{\omega_2 t} + \ldots + C_ne^{\omega_n t},$$

где C_1, ..., C_n— постоянные интегрирования, характеризующие физические и прочие параметры системы и определяемые из начальных условий; ω_1 ...ω_n— корни характеристического уравнения.

Динамические свойства АСР, таким образом, определяются значениями C и ω.

Рассмотрим основные варианты движения АСР, со-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ответствующие некоторым комбинациям корней характеристического уравнения.

1. Все корни — отрицательные, вещественные; тогда все члены $C_i e^{-\omega_i t}$ при $t \to \infty$ обратятся в нуль. АСР устойчива.

2. Один из всех отрицательных вещественных корней положительный; все члены $C_i e^{-\omega_i t}$ обратятся в нуль, а $Ce^{\omega t}$ будет стремиться к бесконечности. АСР неустойчива.

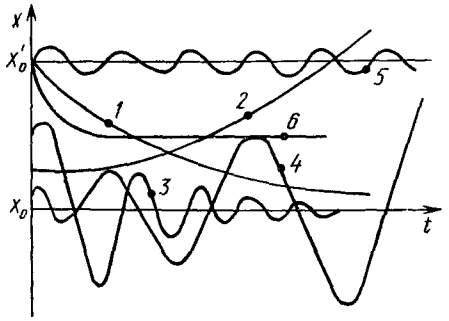


Рис. 13.5

3. Наряду с отрицательными вещественными имеются комплексные корни с отрицательной вещественной частью $-\alpha \pm j\beta$; наличие таких корней также приводит к нулевому решению, но характер изменения параметра будет колебательным с затухающей амплитудой. АСР устойчива.

4. При положительной вещественной части комплексных корней амплитуда будет возрастающей. АСР неустойчива.

5. На границе устойчивости находится АСР, у которой имеются в уравнении два мнимых корня $\pm j\beta$. В этом случае $C_0 e^{j\beta t} + C_1 e^{-j\beta t} = A \sin(\beta t)$, и в системе устанавливается автоколебательный режим (двухпозиционная АСР).

6. При одном из корней, равном нулю, в положении равновесия системы параметр может принимать любое значение. АСР нейтрально устойчива.

Этими вариантами не ограничивается многообразие сочетаний корней уравнений и форм переходных процессов. На рис. 13.5 приводится графическое изображение ПП для уравнений низших порядков. Каждый из видов ПП получил в технике свое определенное название: *1* — апериодический сходящийся; *2* — апериодический расхо-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

дящийся; *3* — периодический сходящийся; *4* — периодический расходящийся; *5* — автоколебательный; *6*— нейтрально устойчивый.

Необходимым и достаточным обобщенным условием устойчивости является наличие у всех корней характеристического уравнения АСР отрицательной вещественной части при положительных знаках коэффициентов уравнения. Наличие хотя бы одного положительного корня делает систему неустойчивой. Отсюда вытекает, что существует возможность математическими методами и соответствующими им техническими средствами добиться устойчивости. Принято изображать расположение корней характеристического уравнения на комплексной плоскости, показанной на рис. 13.6. Из рисунка видно, что мнимая ось $j\beta$ является границей устойчивости. Левая полуплоскость *У* будет зоной устойчивой работы, правая *Н* — неустойчивой, на границе устойчивости располагаются мнимые и нулевые корни.

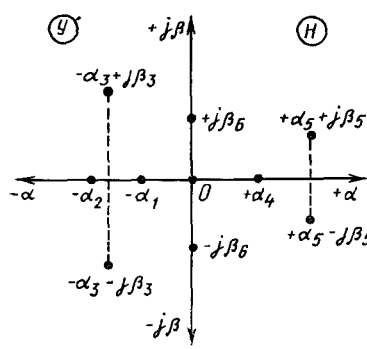


Рис. 13.6

Большой вклад в теорию устойчивости вообще и автоматического регулирования, в частности, внес акад. А. М. Ляпунов, сформулировавший основные постулаты устойчивости.

13.5. Критерии устойчивости

Рассмотренный выше метод анализа устойчивости для уравнений высоких порядков трудоемок, несмотря на применение машинных способов расчета. Поэтому задача поиска простых методов оценки устойчивости систем, впервые сформулированная в 1868 г. Дж. Максвеллом, привлекла внимание ученых из разных стран. Проф. И. А. Вышнеградский в 1876 г. предложил алгебраический критерий, позволяющий, не решая дифференциального уравнения (до третьего порядка), судить об устойчивости АСР по анализу коэффициентов уравнения.

Суть метода заключается в том, что для характеристического уравнения $a_3p^3 + a_2p^2 + a_1p + a_0 = 0$ при всех по-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ложительных коэффициентах должно соблюдаться условие, при котором дискриминант $a_1a_2 - a_0a_3 > 0$ или $a_1a_2 > a_0a_3$. Если этот критерий преобразовать с учетом подстановки $A = a_2/\sqrt[3]{a_3^2a_0}$ и $Б = a_1/\sqrt[3]{a_3a_0^2}$, то можно построить графики, определяющие области устойчивых и неустойчивых (заштрихована) состояний, — диаграмму Вышнеградского (рис. 13.7). Там же между кривыми $а - г$ показаны

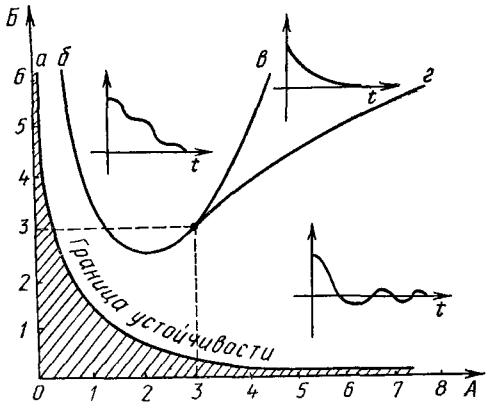


Рис. 13.7

характерные для определенных зон формы переходных процессов.

В 1877 г. профессор Кембриджского университета Е. Раус и в 1895 г. швейцарский математик А. Гурвиц разработали алгоритмы, основанные на матричных методах, пригодные для анализа систем любого порядка. Критерий Гурвица формулируется так: система будет устойчивой, если определитель Гурвица и все его диагональные миноры положительны. Для системы с уравнением движения вида $a_np^n + a_{n-1}p^{n-1} + \ldots + a_1p + a_0 = 0$ это означает соблюдение условий $\Delta_n > 0$; $\Delta_{n-1} > 0$; ...; $\Delta_2 > 0$; $\Delta_1 = a_{n-1} > 0$.

Матрица составляется по определенной схеме. На главной диагонали располагаются по убывающей коэффициенты от a_{n-1} до a_0. Затем заполняются столбцы: вверх — с убывающими, вниз — с возрастающими индексами. При нулевом и n-м индексах в столбцах проставляются нули. Диагональные миноры получают вычеркиванием нижней строки и правого столбца.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

$$\Delta_n = \begin{vmatrix} a_{n\,1} & a_{n-3} & a_{n-5} & \cdots & 0 \\ a_n & a_{n\,2} & a_{n\,4} & \cdots & 0 \\ 0 & a_{n\,1} & a_{n-3} & \cdots & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & a_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_2 & a_0 \end{vmatrix}$$

Так, для системы первого порядка $a_1 p + a_0 = 0$, при $a_1 > 0$ должно быть $a_0 > 0$. Для системы второго порядка $a_2 p^2 + a_1 p + a_0 = 0$ при $a_2 > 0$, $a_1 > 0$, и

$$\begin{vmatrix} a_1 & 0 \\ a_2 & a_0 \end{vmatrix} = a_1 a_0 > 0, \text{ т. е.}$$

и $a_0 > 0$. И так далее.

При высоких порядках уравнений матрицы получаются слишком громоздкими. С развитием электродинамики, электроники и радиотехники появились частотные критерии, обладающие большой наглядностью и удобные для анализа систем высоких порядков. Наибольшую известность и применение в автоматике получили критерии американского ученого Х. Найквиста (1932 г.) и советского ученого А. В. Михайлова (1938 г.). Критерий Найквиста базируется на построении АФХ разомкнутой системы при изменении частоты ω от 0 до $+\infty$ (см. гл. 5). Методика оценки устойчивости заключается в построении годографа вектора частотной передаточной функции, который не должен охватывать точку K с координатами $(-1, j_0)$ (рис. 13.8). На рисунке показаны АФХ устойчивых (*у*) и неустойчивых (*н*) АСР.

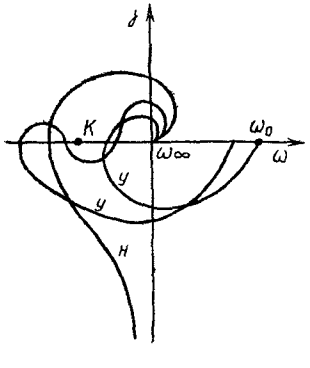


Рис. 13.8

Решение вопроса об устойчивости АСР по методу проф. Михайлова сводится также к определению годографа характеристического полинома для замкнутой системы, в котором произведена замена операто-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ра p на $j\omega$: $L(j\omega)=a_0(j\omega)^n+a_1(j\omega)^{n-1}+\ldots+a_n$. Если выделить в этом выражении вещественную и мнимую части

$$X(\omega)=a_n-a_{n-2}\omega^2+a_{n-4}\omega^4-\ldots;$$

$$Y(\omega)=a_{n-1}\omega-a_{n-3}\omega^3+a_{n-5}\omega^5-\ldots,$$

то $L(j\omega)=X(\omega)+jY(\omega)$.

Годограф Михайлова строится в координатах (X, jY). Для устойчивости линейной АСР необходимо, чтобы годограф при изменении частоты от 0 до $+\infty$ начинался в точке на положительной вещественной полуоси и, вращаясь против часовой стрелки, повернулся на угол $n\pi/2$, пройдя последовательно все n квадрантов комплексной плоскости (n — степень характеристического полинома исследуемой системы). На рис. 13.9 показаны кривые Михайлова для устойчивых и неустойчивых (пунктиром) АСР различного порядка. Если система находится на границе устойчивости, кривая исходит из начала координат, а если соответствует автоколебательному режиму, то проходит через эту точку. На практике необходимо не только знать неустойчивую зону, но и предусмотреть возможность попадания в нее расчетного режима. В этом случае вводится понятие запаса устойчивости (например, кривая $n=3$ не должна пересекать зону заштрихованного круга), производится выделение областей устойчивости с учетом большинства возмущающих факторов.

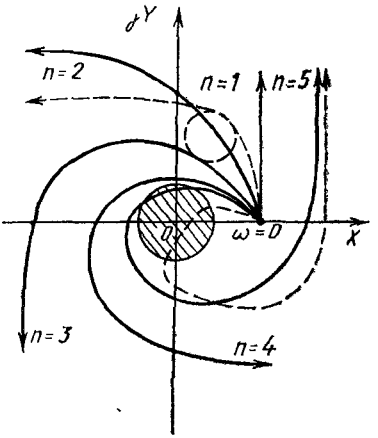


Рис. 13.9

13.6. Качество регулирования

Под *качеством регулирования* понимают способность АСР обеспечивать заданную точность регулируемой величины при наименьшей длительности переходного процесса. Для выявления основных показателей качества

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ПП и оцейки их влияния рассмотрим обобщенную переходную функцию $x(t)$ (рис. 13.10). Автоматический регулятор не дает возможности процессу развиваться по кривой разгона a или c, благодаря чему значение регулируемой переменной стабилизируется с затуханием ПП. Система устойчива, однако устойчивость является основным, но недостаточным условием, так как не всякая устойчивая АСР отвечает требованиям заданной точ-

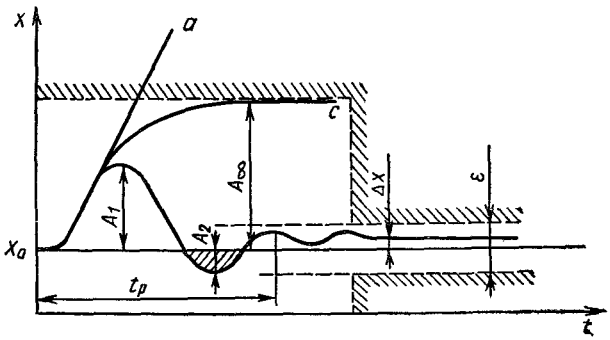


Рис 13 10

ности. Рассмотрим основные показатели качества ПП.

Максимальное динамическое отклонение регулируемой величины, или выброс,—A_1. Это первое, временное отклонение имеет важное значение, особенно когда по технологическим требованиям устанавливаются жесткие границы изменения параметра. Значение A_1 зависит от динамических свойств объекта, характера возмущения, закона регулирования и параметров настройки регулятора.

Динамический коэффициент регулирования $K_д = A_1/A_\infty$ дает возможность оценить, насколько активно автоматический регулятор участвует в процессе. Для астатического объекта $K_д^a = A_1 T_a/(\mu\tau)$, где T_a — время разгона; μ — возмущение; τ — запаздывание.

Перерегулирование $П = A_2/A_1$. В том случае, если регулируемая величина после первого отклонения относительно номинального значения в положительную сторону может перейти в область отрицательных значений (например, вследствие инерционности), происходит перерегулирование. Считается допустимым перерегулирование до 20%; в процессах с критическими точками

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

(кипение, замерзание, воспламенение) оно недопустимо.

Время регулирования t_p определяет продолжительность переходного процесса. Оно охватывает период с момента нанесения возмущения до возвращения регулируемой величины к заданному значению. Теоретически $t_p \to \infty$, практически окончанием переходного процесса считают момент, когда параметр входит в зону нечувствительности регулятора ε, т. е. из вероятностной области (заштрихована) в определенный канал. Для АСР прерывистого действия, например двух-, трехпозиционных, время регулирования не ограничено и основными показателями периодического процесса являются амплитуда, период колебаний и частота переключений.

Колебательность — число колебаний регулируемой величины за время регулирования t_p — обычно ограничивается условиями технологического процесса. Перерегулирование, колебательность и время переходного процесса тесно связаны: чем больше перерегулирование и колебательность, тем продолжительнее ПП. Оптимальным считают число полуколебаний ПП, равное 2... 3. Изменяя параметры настройки регулятора, можно добиться меньших абсолютных отклонений регулируемой величины при более длительном ПП с большим числом колебаний или допустить эти отклонения, но за счет более быстрой стабилизации ПП.

Установившееся отклонение (ошибка, неравномерность) Δx зависит от статизма системы и определяется нагрузкой объекта, законом регулирования и настройкой регулятора. В астатических системах $\Delta x = 0$.

Обобщенная оценка σ применяется для процессов, носящих неявно выраженный апериодический характер, и называется интегральной оценкой качества ПП с уравнением $\sigma = \int_0^\infty \Delta x dt$, описывающим площадь, ограниченную кривой ПП и осями координат. Для колебательных ПП вводится квадратическая интегральная оценка $\sigma' = \int_0^\infty \Delta x^2 dt$.

Вопросы качества и устойчивости регулирования рассматривались применительно к наиболее простым, часто встречающимся на практике, линейным АСР. Обычно качество задается технологическими требованиями.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

13.7. Основные законы (алгоритмы) регулирования

Общие положения. Для удовлетворения технологических требований необходимо составить требуемую схему автоматического регулятора, представляющего многоэлементную структуру. Центральная часть АСР (см. параграф 6.6) формирует алгоритм регулирования, под ко-

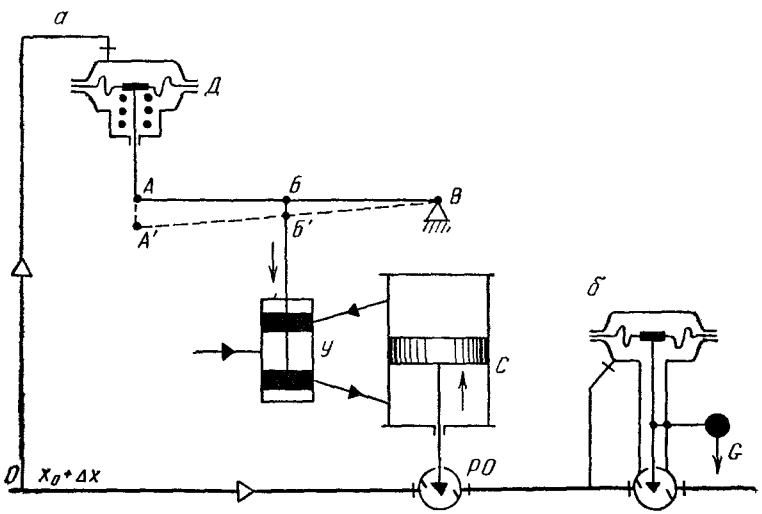


Рис 13.11

торым принято понимать вид зависимости $y=y(x, t)$ выходной величины от входной.

На примере регулятора одного типа рассмотрим совершенствование его структуры для получения наилучших статических и динамических взаимосвязанных свойств. На рис. 13.11, 13.12, 13.15 показаны гидравлический регулятор давления непрямого действия и аналогичный по закону регулирования регулятор прямого действия. Действие регулятора рассматривается только при увеличении регулируемой переменной.

Интегральные (астатические), или И-регуляторы. Остановимся на некоторых особенностях действия регулятора, показанного на рис. 13.11, *а*. Изменение давления $x=x_0+\Delta x$ в точке *О* передается по импульсной трубке и воспринимается мембранным датчиком *Д*, который через рычажный механизм АБВ перемещает плунжер золот-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

никового усилителя *У* (в положение *А'Б'В*). Усилитель направляет энергоноситель в нижнюю полость сервомотора *С*, регулирующий орган *РО* поднимается и пропускает газ. После установления прежнего значения x_0 рычаг занимает положение *АБВ*.

Отметим характерные особенности процесса регулирования. Чем дольше сохраняется отклонение регулируе-

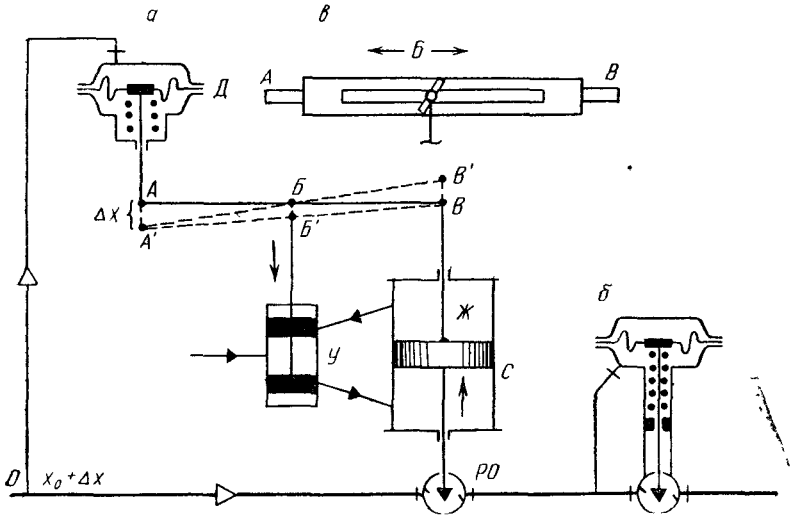


Рис. 13.12

мой величины от ее заданного значения, тем больше перемещение регулирующего органа, и чем больше отклонение, тем быстрее должен перемещаться клапан. Имеет место пропорциональность перемещения скорости перемещения, при которой справедливо уравнение $dy = Kxdt$. Интегрируя его, получим $y = K\int xdt$ и отметим, что регулирующий орган перемещается на величину, пропорциональную интегралу по времени от рассогласования. По виду закономерности регулятор называют интегральным или И-регулятором. Его особенностью является наличие в алгоритме времени t. Динамическая характеристика *И* (рис. 13.13, *а*) отличается колебательным ПП, часто с перерегулированием (при открытии золотника поршень сервомотора стремится занять крайнее положение), большим временем регулирования $t_{\text{р}}^{\text{а}}$.

Такой регулятор обязательно возвращает параметр к

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

исходному значению x_0. Статическая характеристика его имеет вид (рис. 13.13, *б*), присущий астатической АСР (линия *АВ*). Поэтому И-регуляторы называют еще астатическими. Передаточная функция регулятора $W(p)=K/p$ реализуется в виде интегрирующего звена. Исполнительный механизм астатического регулятора должен работать с переменной скоростью, которая при устранении отклонения параметра становится равной нулю. И-регулятор обладает хорошими статическими качествами, динамические его свойства удовлетворительны.

Пропорциональные (статические), или П-регуляторы. Для улучшения динамических качеств попробуем усовершенствовать И-регулятор. Сделаем неподвижный шарнир *В* подвижным, соединив его со штоком сервомотора звеном *ЖВ* и оставив остальные элементы без изменения (рис. 13.12, *а*).

Под действием исходного импульса Δx рычаг займет положение *А'Б'В*, и золотник даст доступ жидкости в верхнюю полость сервомотора, поршень которого начнет подниматься. Вместе с ним начнет перемещаться точка *В*, получившая степень свободы, а так как изменение давления Δx зафиксирует положение мембраны, то по-

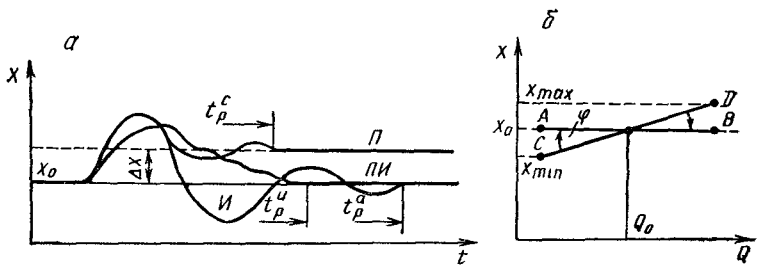


Рис. 13.13

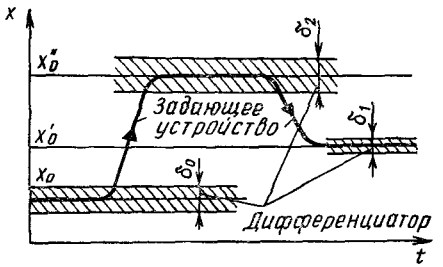


Рис. 13.14

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ворот рычага в пространстве начнет осуществляться теперь вокруг точки A'. Этот поворот и движение сервомотора будут длиться до тех пор, пока $Б'$ не совпадет с $Б$ (положение $A'БВ'$, когда золотник снова перекрыт, сервомотор остановлен — регулятор выключен). Наступил равновесный режим, но мембрана осталась в новом положении, соответствующем значению параметра $x_0+\Delta x$, и клапан остановился в положении, отличном от исходного. Таким образом, регулятор реагирует только на отклонение регулируемой переменной, перемещая на большую величину регулирующий орган при большом отклонении и при малом на малую величину. Такой алгоритм называется пропорциональным, а регулятор сокращенно П-регулятором, который действует согласно закону $y=Kx$. Его передаточная функция $W(p)=K$.

У динамической характеристики $П$ (см. рис. 13.13,*а*) за счет своевременной остановки регулятора уменьшилось время регулирования $t_{\text{р}}^{\text{с}} < t_{\text{р}}^{\text{а}}$, сократилась колебательность ПП, т. е. динамические качества регулятора существенно улучшились. При этом стабилизировался новый режим с установившимся отклонением Δx, характерным для статической АСР, поэтому такие регуляторы называются еще статическими. Статическая характеристика П-регулятора $СД$ имеет неравномерность $\Delta x = x_{\max} - x_{\min}$ (рис. 13.3, *б*).

Улучшение динамических свойств П-регулятора произошло за счет введения звена $ЖВ$, которое внесло в действие регулятора существенные изменения. Детектирующее свойство контура регулирования передавать сигнал в одном направлении изменилось. Сервомотор получил возможность воздействовать не только на регулирующий орган (естественное действие), но и в обратном направлении — на золотник. Регулятор сам себя выключает, не давая ПП развиваться дальше.

С введением звена $ЖВ$ появилась дополнительная (к главной) отрицательная обратная связь, которая, как упоминалось, служит для стабилизации процессов. Ее называют еще жесткой обратной связью или жестким выключателем. Если перемещать шарнир золотника $Б$ по направлению к $А$, то в предельном положении ($А$ совпадает с $Б$) влияние обратной связи прекращается и регулятор превращается в астатический. Таким образом, существует возможность настраивать регулятор на заданную неравномерность, например имея на рычаге

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

струбцину и гибкие шланги подсоединения к сервомотору (см. рис. 13.12, *в*). Изображенный регулятор имеет два настроечных узла: задающее устройство — пружину и дифференциатор — струбцину. На рис. 13.14 показано, как и чем осуществляется настройка регулятора на соответствующие режимы x_0, x_0', x_0'' с заданной точностью δ_0, δ_1, δ_2.

Приведенный на рис. 13.12, *б* статический регулятор прямого действия отличается от астатического наличием

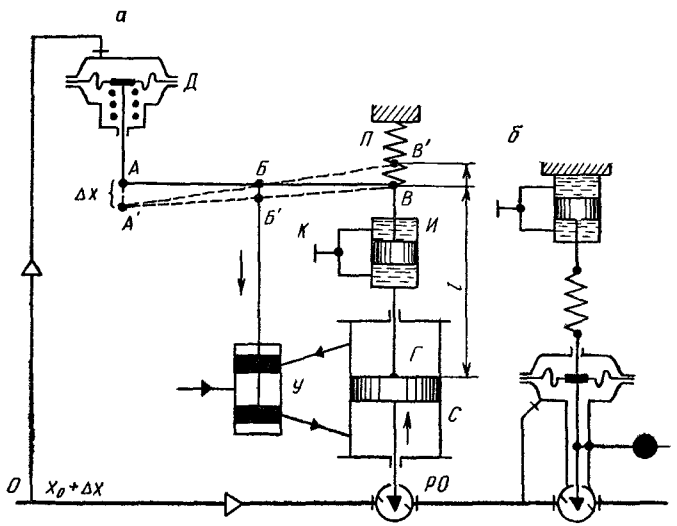


Рис. 13.15

противодействующей пружины, задающей переменное противодействие — статизм, вместо груза — противовеса, создающего постоянное противодействие.

П-регулятор улучшил свои динамические свойства (возросло быстродействие, уменьшилась колебательность и т. п.), но за счет статических свойств. Выигрыш в быстродействии получен за счет точности.

Изодромные, или ПИ-регуляторы. Стремление сочетать положительные свойства И- и П-регуляторов привело к созданию в 1900 г. изодромного (равноскоростного), или ПИ-регулятора — пропорционально-интегрального. Изодромный регулятор (рис. 13.15, *а*) отличается от П-регулятора введением в обратную связь *ВГ* специального звена — изодрома *И*, своеобразного демпфера, и пру-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

жины *П*. Изодром представляет собой поршневой цилиндр, заполненный маслом, полости которого сообщены между собой через гидравлическое сопротивление, например кран *К* или калиброванное отверстие в поршне.

При отклонении параметра ПИ-регулятор работает аналогично П-регулятору, так как в динамическом режиме жидкость не успевает перетекать из одной полости изодрома в другую, и тем самым реализуется жесткая обратная связь. Появляется временная неравномерность Δx и временное установившееся состояние. Это условно как бы первая фаза работы регулятора, так как в системе оказывается неуравновешенным усилие пружины, не дающей рычагу *АБВ* остаться в положении *А′БВ′*. Пружина начинает медленно нажимать на поршень изодрома, который, сокращая длину l звена обратной связи, позволяет рычагу поворачиваться теперь уже вокруг точки *А′*. Шарнир *В′* рычага начинает движение к *В* — положению, соответствующему исходному давлению x_0. При этом золотник приоткрывает доступ масла в сервомотор, следует ряд дополнительных движений последнего, сопровождающихся уменьшением давления, что заставляет и шарнир *А′* переместиться к исходному положению *А*. Так постепенно, в результате сложного движения рычага восстанавливается исходный режим, и рычаг занимает положение *АБВ*. Это как бы вторая фаза действия регулятора, в которой он выступает в роли астатического, и его функция направлена на ликвидацию статической ошибки. Деление на фазы процесса регулирования осуществляется только с методической целью, на самом деле процесс восстановления нарушенного равновесия идет при одновременных воздействиях, описанных в обеих фазах.

В изодромных регуляторах вводится так называемая гибкая, или исчезающая, обратная связь ГВ, позволяющая получить вышеописанный эффект. Переходная характеристика *ПИ* показана на рис. 13.13,*а*: $t_{\text{р}}^{\text{с}} < t_{\text{р}}^{\text{и}} < t_{\text{р}}^{\text{а}}$. Видно, что параметр возвращается к исходному значению. Статическая характеристика регулятора представлена на рис. 13.13,*б* двумя характеристиками — начальной *CD* и конечной *AB*, т. е. изодром как бы поворачивает регулировочную характеристику на угол φ. Закон регулирования тоже выражается в виде двух составляющих $y = Kx + K\int x dt$ или $y = K(x + \int x dt)$.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Воздействуя на кран K изодрома, можно управлять скоростью возврата параметра к номинальному значению. Так, при полном закрытии гибкая связь превращается в жесткую, а регулятор — в статический, т. е. такой кран может служить еще одним настроечным узлом. На рис. 13.15, *б* показан изодромный регулятор прямого действия, принцип действия которого виден из схемы.

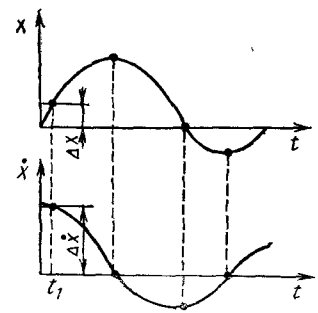


Рис. 13.16

За счет усложнения конструкции регулятора удалось получить одновременно хорошие динамические и статические свойства АСР, что делает преимущественным использование изодромных регуляторов при автоматизации сложных теплотехнических систем.

Регулирование по производным, или Д-, ПД-, ПИД-регуляторы. Для подавления колебаний и уменьшения времени регулирования в качестве входного сигнала используются также сигналы от производных регулируемой величины, т. е. скорость (чаще) и ускорение. В начальный момент возмущения t_1 скорость отклонения регулируемой величины $\Delta\dot{x}$ проявляется значительнее, чем само отклонение Δx (рис. 13.16). Этот сигнал как бы предваряет основное воздействие, поэтому регуляторы такого алгоритма называют регуляторами с предварением или, исходя из закона $y=K\dot{x}$, дифференцирующими, Д-регуляторами. Д-регуляторы в чистом виде не нашли применения, однако в комбинации с другими, например П- и ПИ-, часто используются как ПД- и ПИД-регуляторы с алгоритмами $y=K(x\pm T_д\dot{x})$ или $y=K(x+\int x dt\pm T_д\dot{x})$, где $T_д$ — время дифференцирования или предварения, ха-

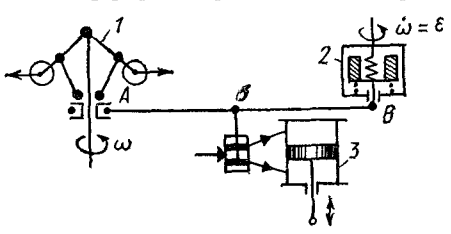


Рис. 13.17

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Табл. 13.1. **Основные законы регулирования**

Тип регулятора и закон регулирования	Емкость	Скорость реакции объекта	Характер изменения нагрузки		Область применения
			Значение	Скорость	
Двухпозиционный $y = \operatorname{sign} x$	Большая	Медленная	Произвольное	Произвольная	Установки с большими T_z. Резервуары, котлы водяного отопления, комнатные радиаторы
Интегральный (И) $y = K \int x dt$	Произвольная	Быстрая	То же	Малая	Объекты с малым запаздыванием. Промышленные печи, вентустановки, СКВ
Пропорциональный (П) $y = Kx$	Средняя	Медленная—умеренная	Малое	Средняя	Уровень в резервуарах, сушильные печи, вентустановки с регулированием $\theta_в$
Изодромный (ПИ) $y = K\,(x + (1/T_и) \int x dt)$	Произвольная	Произвольная	Большое	Малая—средняя	Объекты с большой скоростью протекания процессов. Прецизионные СКВ
Пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) $y = K(x + (1/T_и) \int x dt + T_д \dot{x})$	То же	То же	То же	Большая	Объекты с неожиданными, но известными возмущениями. Дозирование

Электронная библиотека http://igv.khstu.ru/

рактеризующее степень воздействия производной на регулирующее воздействие.

На рис. 13.17 показан автоматический регулятор скорости с центробежным датчиком *1*, у которого имеется дополнительный параллельный контур с датчиком ускорения *2* — акселерометром, также воздействующим на суммирующий рычажный элемент *АБВ*, управляющий золотником гидроусилителя *3*. Дополнительное воздействие по производной, форсируя действие регулятора, оказывает положительный эффект, особенно в объектах со значительным запаздыванием. Например, при централизованном теплоснабжении упреждающий сигнал об изменении скорости нарастания или убывания наружной температуры может оказаться чрезвычайно эффективным. К рассматриваемым законам может также относиться дополнительное воздействие по интегралу отклонения регулируемой переменной, которое позволяет получить астатическое регулирование, но за счет ухудшения динамических качеств АСР. В табл. 13.1 приводятся некоторые данные по применению различных регуляторов.

13.8. Связанное регулирование

В ряде случаев технологические процессы требуют одновременного регулирования двух или нескольких взаимно связанных величин. Например, регулирование расхода теплоносителя на отопление и горячее водоснабжение и температуры теплоносителя, регулирование частоты вращения турбин и давления отбора пара на ТЭЦ и др. Задачу можно решать установкой независимых регуляторов и связанным регулированием. На рис. 13.18

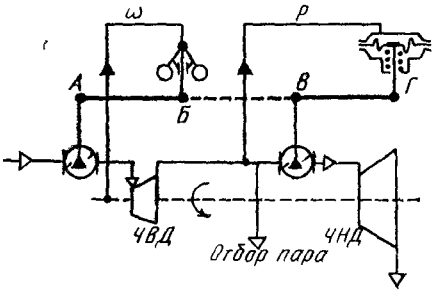


Рис. 13.18

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

показаны два варианта регулирования паровой турбины, состоящей из частей низкого (ЧНД) и высокого (ЧВД) давления с отбором пара. В первом случае регуляторы скорости ω и давления p действуют самостоятельно, отсутствует связь *БВ*. Как показывает опыт эксплуатации, при этом изменение только одной электрической либо тепловой нагрузки заставляет действовать оба регулятора, что еще больше выводит из состояния равновесия систему. В случае связанного регулирования оба регулятора кинематически соединяются звеном *БВ*, выполняя качественно общую задачу управления установкой. При соответствующем выборе структуры и параметров звеньев регуляторов можно добиться так называемой автономности связанного регулирования.

13.9. Сравнительные характеристики и выбор регулятора

Выбор регулятора является ответственным и сложным делом и требует многостороннего системного подхода, хотя в каждом конкретном случае необходимо исходить из определенных принципов, доминирующих факторов. Регулятор прямого действия прост в устройстве и обслуживании, но требует локального измерения, имеет малое перестановочное усилие, пропорционально связанное с габаритами, а также низкие коэффициенты усиления и точность. На выбор регулятора в основном влияют статические и динамнческие свойства объекта и в особенности инерционность, характеризующаяся динамической постоянной T_z и запаздыванием τ. Из рис. 13.19 видно, например, как меняется T_z для регулирования процессов с различными параметрами (температура θ, влажность φ, уровень H, давление p, расход V).

При выборе вспомогательной энергии (энергоносителя), т. е. типа регулятора непрямого действия, следует учитывать автономность источника питания, последствия прекращения подачи энергоносителя, радиус действия АСР, компоновку схем защиты, запаздывание в передаче сигналов, вопросы технического обслуживания и ремонта. Сопоставим некоторые достоинства и недостатки регуляторов.

К достоинствам гидравлического регулятора следует отнести простоту конструкции, практически неограниченное перестановочное усилие, легкость обслуживания, настройки, ремонта, надежность в тяжелых условиях

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

эксплуатации; к недостаткам — значительную металлоемкость, ограниченность радиуса действия, необходимость восполнения утечек и резервирования насосов, пожароопасность.

Пневматический регулятор сохраняет достоинства гидравлического с учетом ограничения предельного давления до 0,8 МПа из условий пожаро- и взрывобезопасности и степени сжатия газа и имеет меньшую металлоемкость магистралей из-за возможности выпуска обратного воздуха (газа) в атмосферу (свечу). Недостатками считаются ограниченный радиус действия, сравнительно большие габариты вследствие бо́льших проходных сечений магистралей и оборудования, необходимость установки и обслуживания компрессора, пожаро- и взрывоопасность.

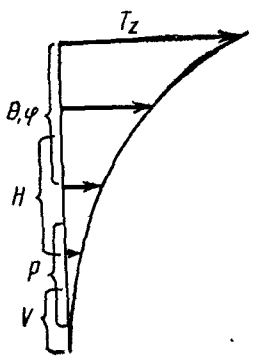


Рис. 13.19

В электрическом регуляторе находит применение самый распространенный источник энергии. Регулятор обладает быстродействием, практически неограниченным радиусом действия, позволяет использовать современную измерительную технику, стандартизацию и взаимозаменяемость деталей, имеет малую металлоемкость и отличается незначительным потреблением энергии. Недостатки — низкая надежность из-за наличия потенциально опасных элементов (контакты, лампы, аккумуляторы и т. д.), высокая стоимость, непропорциональная зависимость габаритов привода от мощности и, наконец, необходимость обслуживающего персонала высокой квалификации.

В табл. 13.2 дается сравнительная характеристика приведенных АСР в относительных единицах (баллах).

Ориентировочный выбор регулятора по характеру перемещения регулирующего органа можно производить на основании динамического критерия $\psi=\tau/T_z$. При $\psi<1$ выбирают регулятор непрерывного действия, при $\psi<0{,}2$ — релейного действия и при $\psi>1$ — импульсный регулятор. Общее представление о выборе алгоритма регулирования может дать диаграмма на рис. 13.20. На осях откладывают безразмерные коэффициенты $L_0=$

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Табл. 13.2. **Сравнение АСР по виду энергоносителя**

АСР / Характеристика	Гидравлическая		Пневматическая	Электрическая
	Масло	Вода		
Надежность	5	4	3,8	3
Стоимость	1,5	1	1,2	2,5...3,5
Энергоемкость	2	1,5	3	0,5

$=T_z/\tau$ и $L_p=t_p/\tau$ (t_p — время регулирования). Из диаграммы видно, что при $L_p<2$ ни один из регуляторов не может обеспечить процесс регулирования. При $2<L_p<4$ пригодны изодромные регуляторы, при $4<L_p<6$ — ПИД- и П-регуляторы; диапазон $6<L_p<10$ относится ко всем типам регуляторов, кроме астатических. Несколько однотипных зависимостей приведены для различных степеней возмущения $R_1...R_3$.

Независимо от методики выбора регулятора необходимо знать динамические и статические свойства объекта (K_0, T_z, τ и т. п.), максимальные значения возмущений по нагрузке, частоту их появления и необходимые технологические требования к качеству переходного процесса.

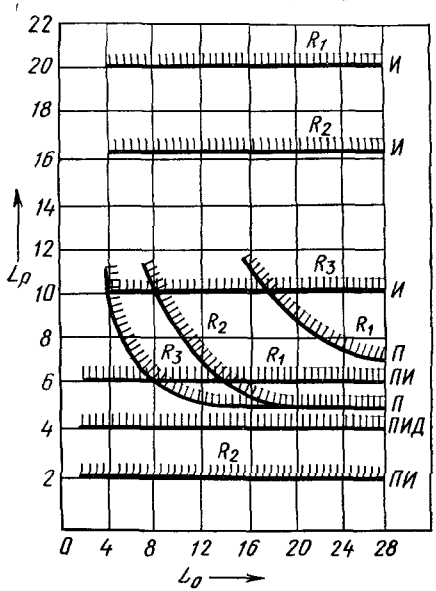


Рис. 13 20

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Исходными данными для формулирования задачи регулирования служат: регулируемая величина и диапазон регулирования; минимальные и максимальные заданные значения качественного и количественного параметров; допустимые отклонения и точность регулирования; компоновка объекта регулирования с назначением точек измерения и выбором регулирующих органов и условия работы (температура, влажность, загрязненность, влияние полей).

13.10. Параметры настройки регуляторов

При выборе типа регулятора требуется соответствие его динамических характеристик и объекта. Динамические характеристики регулятора зависят от его настройки, которая осуществляется специальными устройствами на основании расчета (коэффициентов в уравнениях), призванного обеспечить минимизацию критериев качества регулирования. Параметры настройки регуляторов различных типов представлены в табл. 13.3.

Коэффициент передачи $K_р$ для всех регуляторов, кроме И-регулятора, определяется отношением доли (в процентах) хода регулирующего органа к единице регулируемой величины (у И-регулятора в знаменатель еще входит время, с).

Для расчета параметров настройки типовых промышленных объектов пользуются номограммами и эмпирическими формулами. Пример расчета для двух видов переходных процессов в объекте с саморегулированием приведен в табл. 13.4, где K_0 — коэффициент передачи объекта; T_z — его динамическая постоянная; τ — запаздывание; σ' — квадратическая оценка качества регулирования (см. параграф 13.6).

Табл. 13.3. **Динамические настройкн регуляторов**

Тип регулятора	Параметры настройки				
	Регулируемая величина x	Коэффициент передачи $K_р$	Время сервомотора T_s, с	Время изодрома $T_и$, с	Время предварения $T_д$, с
И	+	+	+		
П	+	+			
ПИ	+	+		+	
ПИД	+	+			+
Двухпозиционный	Диапазон колебаний регулнруемой величиины Δx; период колебаний T, с; частота переключений ν				

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Табл. 13.4. **Оптимальные параметры настройки регуляторов**

Вид ПП / Тип регулятора	Апериодический с минимальным $t_р$	Периодический затухающий с 20%-ным перерегулированием	Периодический затухающий с σ'_{min}
П	$K_р = 0{,}3T_z/K_0$	$K_р = 0{,}7T_z/(K_0\tau)$	$K_р = 0{,}9T_z/(K_0\tau)$
И	$K_р = 1/(4{,}5K_0T_z)$	$K_р = 1/(1{,}7K_0T_z)$	$K_р = 1/(1{,}7K_0\tau)$
ПИ	$K_р = 0{,}6T_z/(K_0\tau)$ $T_и = 0{,}8\tau + 0{,}5T_z$	$K_р = 0{,}7T_z/(K_0\tau)$ $T_и = \tau + 0{,}3T_z$	$K_р = T_z/(K_0\tau)$ $T_и = \tau + 0{,}35T_z$
ПИД	$K_р = 0{,}95T_z/(K_0\tau)$ $T_и = 2{,}4\tau$; $T_д = 0{,}4\tau$	$K_р = 1{,}2T_z/(K_0\tau)$ $T_и = 2{,}0\tau$; $T_д = 0{,}4\tau$	$K_р = 1{,}4T_z/(K_0\tau)$ $T_и = 1{,}3\tau$; $T_д = 0{,}5\tau$

После расчета проверяют, находятся ли параметры в области нормальных режимов (ОНР). На рис. 13.21 показана ОНР, построенная для ПИ-регулятора, и переходные процессы *1...3* с разными $K_р$, из которых процесс *2* выходит за пределы ОНР. Регулятор необходимо перенастроить.

Следует правильно применять термины «регулирование» и «регулировка». Регулировка — эпизодическое или

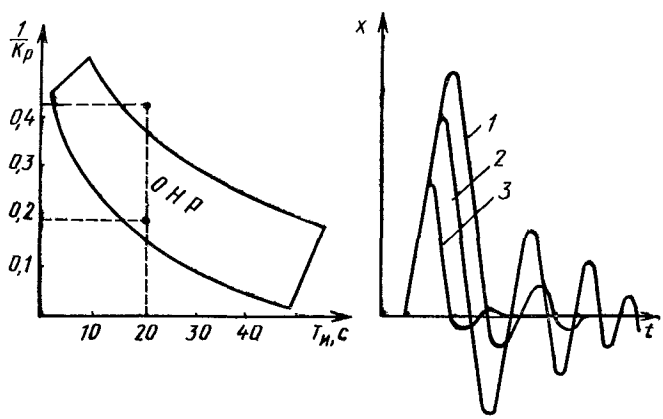


Рис. 13.21

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

периодическое вмешательство человека в работу установки с целью настройки, наладки, обычно в ходе монтажа, опробования или испытаний. Балансировка колеса вентилятора — регулировка, изменение частоты вращения для обеспечения заданного расхода — регулирование, т. е. воздействие на режим работы.

13.11. Надежность АСР

Надежность — свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризует способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения. Надежность определяется безотказностью, долговечностью, ремонтопригодностью и сохраняемостью.

Если надежность автоматического регулятора в первые 10 месяцев службы составляет 0,98, это означает, что до окончания указанного срока в 98 случаях из 100 регулятор действует безотказно. Надежности АСР придается большое значение, так как эксплуатация объектов происходит без участия человека, и отказ автоматических устройств, например на электростанции или железнодорожном транспорте, может привести к тяжелым последствиям. Исследование причин отказов ТСА показало, что 45% отказов происходит из-за ошибок при проектировании, 20% — при производстве, 30% — в ходе эксплуатации при нарушении режимов и правил обслуживания и около 5% — от изнашивания и старения.

Вероятности исправной работы $p(t)$ и отказа $q(t)$ связаны соотношением $q(t)=1-p(t)$. Важной характеристикой надежности является интенсивность отказов $\lambda(t)$, определяемая отношением числа отказов к промежутку времени, в течение которого они произошли.

Ориентировочный расчет надежности системы обычно делается на стадии эскизного проекта. Для основного функционального соединения элементов в систему справедливо уравнение $p(t)=\prod_{i=1}^{N} p_i(t)$, а при экспоненциальном законе вероятности безотказной работы $p_i(t)=e^{-\lambda_i t}$ следует, что $p(t)=e^{-\sum_{i=1}^{N}\lambda_i t}$.

Если каждый элемент имеет n_i деталей, а λ_j — интен-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

сивность отказов каждой из них, то надежность функционирования АСР

$$P(t) = \exp\left(-t \sum_{i=1}^{N} \left(\sum_{j=1}^{n_i} \lambda_j\right)\right).$$

Учет влияния условий эксплуатации производится с помощью коэффициента k: $\lambda_j = k\lambda_{j0}$, который, например, для лабораторных условий равен 1, для работы на автоприцепах —25, на самолетах —150, в горных условиях— 80. При эксплуатации АСР в системах ТГВ необходимо производить расчет, учитывая надежность самих систем инженерного оборудования зданий и сооружений.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Раздел IV. АВТОМАТИЗАЦИЯ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЯ И ВЕНТИЛЯЦИИ

Глава 14. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СХЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ, МОНТАЖ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ УСТРОЙСТВ АВТОМАТИКИ

Одной из главных целей изучения дисциплины «Автоматизация систем теплогазоснабжения и вентиляции» является овладение навыком чтения и методикой составления схем автоматизации различных объектов. При проектировании автоматизированных объектов необходимо использовать новые условные обозначения и методики построения технологических, а также структурных, принципиальных схем и схем автоматизации. Следует изучить ряд нормативных документов (строительные нормы и правила, технические условия и т. п.), на основании которых определяется уровень автоматизации, степень оснащения различными подсистемами автоматизации исходя из алгоритма функционирования объекта. Очень важную роль при проектировании играет знание ГСП, требований государственных и отраслевых стандартов.

14.1. Основы проектирования схем автоматизации

Содержание проектной технической документации определяется нормативными документами (СН, СНиП, ВСН) и требованиями ЕСКД по составу, содержанию и исполнению проектов автоматизации технологических процессов (основной документ — ВСН-281—75 Минприбора СССР).

Проекты выполняются на основании технического задания на проектирование с необходимыми исходными данными и материалами. В нем содержатся: технико-экономическое обоснование, перечень автоматизируемых производств, процессов, установок; технологические схемы с характеристикой оборудования, перечень контролируемых и регулируемых величин; цели автоматизации,

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

требования к качеству и надежности автоматики; рекомендации по централизации и структуре управления; число стадий проектирования и рекомендации по расположению пультов управления. Техническое задание сопровождается необходимыми строительными чертежами зданий, сооружений, коммуникаций, исходными данными для расчета и т. п.

Проектирование выполняется в две стадии (технический проект — рабочие чертежи) или в одну (техрабочий проект). При проектировании необходимо придерживаться определенной последовательности в разработке схем автоматизации. В первую очередь находят места для размещения пунктов управления и операторских помещений, определяют основные функции автоматики и ТСА, обеспечивающие реализацию этих функций в каждом пункте. Выявляется характер взаимосвязей технологических подразделений, пунктов контроля и управления между собой и с автоматизированной системой управления технологическим процессом (АСУ ТП). Результатом решения перечисленных задач является структурная схема управления и контроля, которая выполняется для сложных объектов.

Следующим этапом проектирования является разработка схем автоматизации (раньше назывались функциональными), которые строятся по чертежам технологической части и структурной схемы автоматизации. Схемы автоматизации являются основным документом, определяющим функциональную структуру отдельных узлов автоматического контроля, управления и регулирования технологического процесса, а также оснащение их КИП и ТСА (в том числе средствами телемеханики и вычислительной техники). Составление схем автоматизации производится на основании анализа алгоритмов управления объектом, требований к точности контроля и регистрации, качеству и надежности регулирования технологических параметров и в соответствии с ОСТ 36-27—77, устанавливающим обозначения в схемах автоматизации. В стандарте значительно упрощено изображение технических средств автоматизации. Первичные и вторичные преобразователи, регуляторы, электроаппаратуру показывают кружками диаметром 10 мм, исполнительные устройства — квадратом со стороной 5 мм. Кружок разделяется горизонтальной чертой при изображении устройств, устанавливаемых на щитах, пультах.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

В верхней его части условным кодом записывают регулируемую величину и функциональные признаки прибора (показание, регистрация, регулирование и т. п.), в нижней — номер позиции по схеме.

Наиболее употребительные в технике ТГВ обозначения измеряемых величин: *D* — плотность, перепад; *E* — любая электрическая величина; *F* — расход; *H* — ручное воздействие; *K* — время, программа; *L* — уровень; *M* — влажность; *P* — давление (разрежение); *Q* — качество среды; *S* — частота; *T* — температура; *W* — масса. Функции, выполняемые приборами: *A* — сигнализация; *C* — регулирование; *I* — показание; *R* — регистрация; *S* — включение, отключение, переключение. Род сигнала: *E*— электрический; *P* — пневматический; *G* — гидравлический. Преобразование сигнала: *E* — первичное; *T* — промежуточное.

В условном обозначении должны отражаться те признаки, которые используются в схеме. Например, *PDI*— прибор для измерения перепада давления показывающий (дифманометр), *LCS* — электрический контактный регулятор уровня, *TC* — терморегулятор, *FT* — ротаметр с электропередачей и т. д.

На основании схемы автоматизации разрабатываются принципиальные электрические, пневматические, гидравлические или комбинированные схемы, которые определяют полный перечень приборов, аппаратов и устройств, а также связи между ними. Принципиальные схемы объясняют принцип действия подсистем и служат основанием для разработки монтажных схем, схем подключения и др. Далее разрабатывают чертежи общих видов пультов и щитов со схемами внешних соединений и трубных подводок. В проекте приводятся также планы расположения средств автоматизации, нетиповые чертежи установки и общие виды нестандартного оборудования, заказные спецификации, прилагаются пояснительная записка, заявочные ведомости и задания генеральному проектировщику.

14.2. Монтаж, наладка и эксплуатация средств автоматизации

До монтажа средств автоматизации необходимо привести объект автоматизации в соответствие с требованиями действующих правил и технических условий и обору-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

довать его необходимым минимумом контрольно-измерительных приборов. ТСА монтируются специализированными организациями Минмонтажспецстроя СССР и союзных республик на основании проектов производства работ, выполненных в проектных или монтажных организациях.

В зависимости от особенностей технологического процесса, назначения, вида и типа аппаратуры, влияния окружающей среды, требований техники безопасности определяются основные направления и специфика монтажных работ. Большую долю составляют электромонтажные работы, к основным разновидностям которых относят монтаж щитов и пультов, электропроводок, кабельных линий, распределительных устройств, трубопроводов и арматуры, аппаратуры контроля, управления, регулирования, защиты и сигнализации, исполнительных устройств и электроосвещения. При проведении монтажных работ необходимо руководствоваться специальными сборниками типовых чертежей установки приборов на оборудовании и трубопроводах со схемами обвязки и т. п.

Перед монтажом необходимо провести ревизию, а иногда проверку приборов и их узлов на стенде на соответствие их требованиям, указанным в паспортах и технических условиях. На каждый прибор или устройство должна быть инструкция по монтажу, соблюдение которой, как и выполнение требований проекта, обязательно. Аналогичная инструкция предусматривается и для наладчиков, осуществляющих по завершении монтажа проверку, наладку и настройку автоматики, которым предшествует проверка правильности монтажа, подключения, наличия заземления, отсутствия видимых дефектов и повреждений, а также поверку контрольно-измерительной аппаратуры. Основной целью пусконаладочных работ является проверка работоспособности устройств и настройка режима автоматизированного объекта на регламентированные техническими условиями параметры (номинальные, оптимальные, аварийные и т. д.).

Особенностью эксплуатации автоматизированных объектов является отсутствие обслуживающего персонала, что повышает требования к точности монтажа и наладки. Правила технической эксплуатации автоматики предусматривают планово-предупредительный (профилактический) осмотр и ремонт, проводимые в определен-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ные календарные сроки, причем значение технического обслуживания растет по мере увеличения объема автоматизации. Планирование профилактики (периодические осмотры и испытания, текущий, средний и капитальный ремонты) зависит от вероятности возникновения отказов функционирования ТСА. Существует регламентное обслуживание, проводимое по достижении параметрами аппаратуры определенных показателей, и календарное, когда определяющим работоспособность фактором является время. Область знаний, охватывающая теорию, методы и средства определения технического состояния автоматизированного объекта, в последнее время выделилась в самостоятельную отрасль — техническую диагностику.

Глава 15. АВТОМАТИЧЕСКОЕ ДИСТАНЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ

Среди подсистем автоматизации наибольшее распространение получили системы и схемы дистанционного управления (СДУ) электроприводом механизмов.

Независимо от типа электродвигателя в функции, выполняемые СДУ, входят: пуск и останов привода; реверсирование; торможение; изменение частоты вращения; защита от перегрузок и повреждений; блокировка; обеспечение последовательности операций; сигнализация; обеспечение экономичной работы (с возвратом энергии в сеть) и ряд других. В основе построения СДУ лежат принципиальные электрические схемы, определяющие полный состав приборов, аппаратов, устройств и связей между ними.

15.1. Принципы релейно-контакторного управления

Во всяком автоматизированном электроприводе имеются две основные самостоятельные электрические цепи: электродвигателя, или главного тока (силовая), и управления, или вспомогательного тока. Дополнительно схемы могут усложняться цепями блокировочных связей, сигнализации, контроля и регулирования.

Смысл релейно-контакторного управления заключа-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ется в том, что воздействия человека или автомата на цепь управления (наличие или отсутствие тока) приводят в движение электродвигатель, включенный в цепь главного тока. Эти операции выполняются электромагнитным устройством в виде реле, силовых катушек с контактами, вследствие чего такой принцип управления назван релейно-контакторным. В простейшей схеме СДУ, показанной

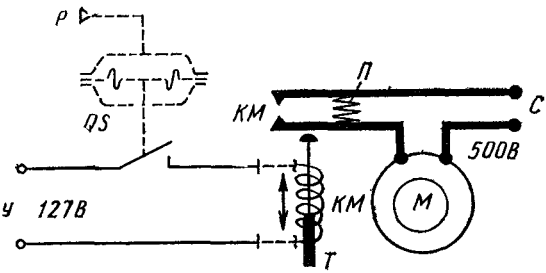


Рис. 15.1

на рис. 15.1, при замыкании контактов включателя *QS* в цепи управления *У* электромагнитная катушка *КМ* втягивает сердечник-толкатель *Т*, нажимающий на контакты *КМ*, находящиеся в другой, силовой цепи *С*, и пускает электродвигатель *М*. При размыкании контакта *QS* размыкается и контакт *КМ* под действием пружины *П* — двигатель останавливается.

Этот принцип управления имеет ряд преимуществ. Токи, протекающие по силовой цепи, зависят от типа и назначения электродвигателя. Непосредственное воздействие на контакты *КМ*, особенно при их размыкании (самоиндукция), опасно, а большая протяженность силовой цепи нецелесообразна. Становится возможным управление при помощи слабых токов большими мощностями на расстоянии. Помимо аппаратов ручного воздействия в цепь управления могут быть включены автоматические, программные устройства от ЭВМ (см. пунктир на рис. 15.1) и т. п.

Изображение принципиальных схем может быть однолинейным (чаще) и многолинейным. Линии связи показывают, как правило, полностью. Каждый элемент, входящий в схему, должен иметь буквенно-цифровой код по ГОСТ 2.710—81. Коммутирующие (замыкающие) элементы изображают в отключенном состоянии, т. е. при отсутствии электромагнитного или механического

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

воздействия, и в этом положении определяют замыкающие или размыкающие контакты.

Сложность схем автоматизированного электропривода требует определенной последовательности их рассмотрения и построения. Сначала определяют принцип автоматического управления, затем составляют главную цепь, цепь управления, проводят взаимную их увязку, добавляют блокировочные, сигнализационные и прочие цепи.

15.2. Управление асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором

На схемах управления вспомогательные цепи изображают совместно с главными. Рассмотрим простую СДУ асинхронным электродвигателем. На ее примере покажем совмещенную и разнесенную схемы изображения принципиальных электрических схем. На рис. 15.2, *а* приведена совмещенная принципиальная схема дистанционного управления при помощи магнитного пускателя. Чтобы запустить или остановить двигатель, необходимо замкнуть или разомкнуть главные контакты *КМ1*... ...*КМ3* в силовой цепи, которыми управляет катушка *КМ*. Обмотка последней включена в цепь управления. При нажатии кнопки *SB1* цепь управления замыкается, через обмотку катушки *КМ* протекает ток. Катушка втягивает сердечник, с которым механически связаны главные контакты *КМ1...КМ3,* и замыкает их. Одновременно в цепи управления замыкается «блок-контакт» *КМ4,* шунтирующий кнопку *SB1,* что позволяет отпустить ее. Для останова двигателя достаточно нажать кнопку *SB2,* разрывающую цепь управления. При этом катушка *КМ* обесточивается, сердечник под воздействием пружины или силы тяжести выходит из катушки, что приводит к размыканию контактов *КМ1...КМ3.* Защита обмоток статора от длительных перегрузок обеспечивается плавкими предохранителями, а от кратковременных — электротепловыми реле *КК1* и *КК2,* чувствительный элемент которых включен в силовую цепь, а размыкающие контакты — в цепь управления. При совмещенном способе составные части элементов изображают кинематически связанными в непосредственной близости друг от друга.

Та же схема, но выполненная разнесенным способом,

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

показана на рис. 15.2, *б*. Она состоит из горизонтального ряда цепей, причем составные части элементов могут быть изображены в разных местах. Необходимым условием является однозначность буквенно-цифровых кодов конструктивно связанных элементов (например, катушка *КМ* имеет контакты *КМ1...КМ4*). Такая структура схемы проще и нагляднее, что при усложнении последней дает несомненные преимущества.

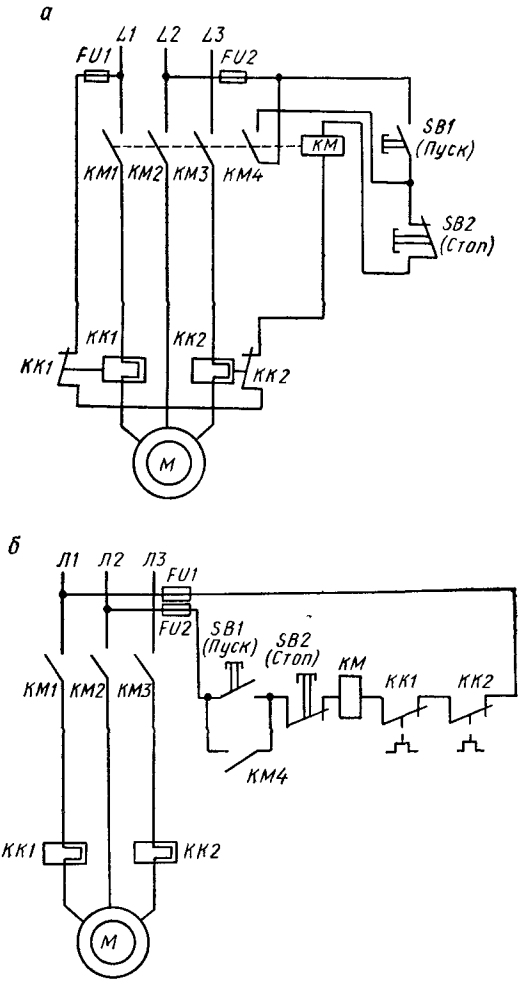


Рис. 15.2

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

15.3. Управление электродвигателем с фазным ротором

В момент пуска двигателя в обмотках ротора возникает пусковой ток, превышающий номинальный в несколько раз. Двигатель вследствие перегрева может выйти из строя. Чтобы избыточная теплота в момент пуска не выделялась в обмотках, в цепь ротора включены специальные пусковые резисторы *R11...R33* (рис. 15.3). По мере разгона двигателя роторный ток снижается, необходимость во внешних резисторах отпадает, и они поочередно отключаются.

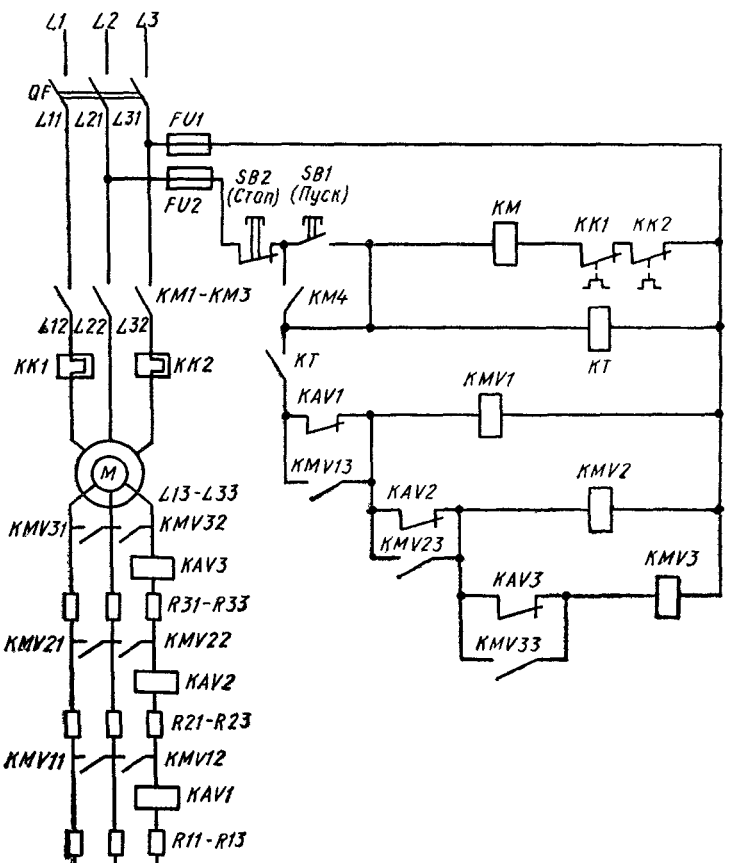


Рис. 15.3

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Пуск двигателя производится следующим образом. Включается рубильник *QF*, нажатием кнопки *SB1* катушкой *KM* замыкаются главные контакты *KM1...KM4*, и двигатель начинает работать при полностью введенных пусковых резисторах. Пусковой ток протекает также через катушки реле ускорения *KAV1...KAV3*, которые втягивают сердечники и размыкают свои размыкающие контакты *KAV1...KAV3* в цепи управления. Когда пусковой ток несколько снижается, реле *KAV1* отпускает сердечник, контакт *KAV1* замыкается, напряжение в цепи управления подается на катушку контактора ускорения первой ступени *KMV1*, контактор срабатывает и замыкает контакты *KMV11*, *KMV12* в цепи ротора, отключая первую ступень резисторов *R11...R13*. По мере дальнейшего снижения пускового тока аналогичным образом отключаются вторая и третья ступени. Реле блокировки *KT* введено для того, чтобы ток в цепи ротора достиг значения, при котором все реле ускорения размыкают свои размыкающие контакты. Шунтирование размыкающих контактов реле ускорения *KAV1...KAV3* соответствующими блок-контактами *KMV13...KMV33* контакторов ускорения предусмотрено ввиду возможности вибрации контактов реле ускорения при бросках роторных токов.

15.4. Реверсирование и управление резервными электродвигателями

Реверсированием называют изменение направления движения (вращения) установки на обратное. Схема дистанционного управления реверсивным асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором представлена на рис. 15.4. Для изменения направления вращения ротора достаточно переключить любые две из трех фаз на зажимах электродвигателя. Эту задачу выполняет реверсивный магнитный пускатель, состоящий из двух контакторов *KMB* и *KMH*, включаемых поочередно и замыкающих главные контакты *KMB* («вперед») или *KMH* («назад»), переключая при этом фазы *L1* и *L3*.

Во избежание короткого замыкания между фазами *L1* и *L3* в схеме предусмотрена электрическая блокировка, исключающая возможность одновременного срабатывания контакторов *KMB* и *KMH*. Кнопки управления включены таким образом, что при нажатии, например, кнопки *SBB* сначала разрывается цепь катушки *KMH* и

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

только потом замыкается цепь катушки *КМВ*. Даже при случайном одновременном нажатии обеих пусковых кнопок цепи управления катушками *КМВ* и *КМН* размыкаются. Кроме этого, в устройстве самих кнопочных станций имеется механическая блокировка.

При дистанционном управлении электрической установкой необходимо сигнализировать на пост управления о состоянии отдельных электродвигателей. При пуске двигателя одновременно с главными контактами *КМВ (КМН)* контактор *КМВ (КМН)* замыкает блок-контакт

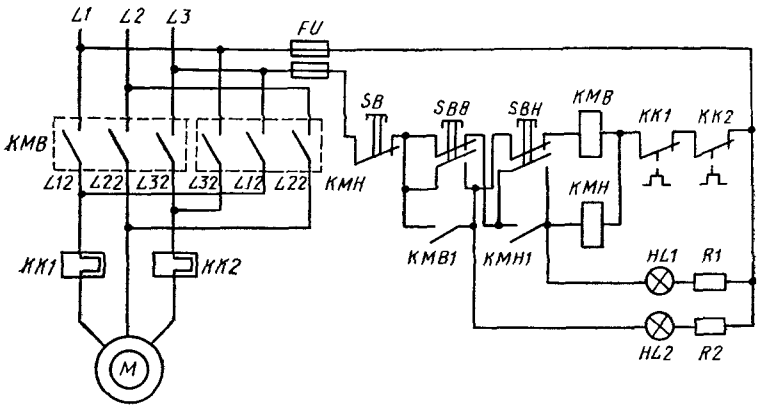


Рис. 15.4

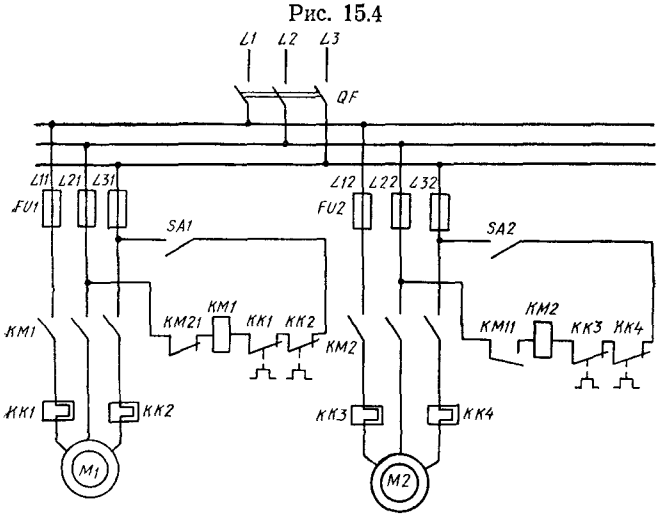


Рис. 15.5

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

KMB1 или *KMH1*. При этом загорается сигнальная лампа—зеленая *HL1* или красная *HL2*. Добавочные резисторы *R1* и *R2* устанавливают при напряжении сети более 220 В.

При выходе из строя основного агрегата может возникнуть необходимость немедленного пуска резервного насоса или вентилятора. В схеме автоматического включения резервного двигателя (рис. 15.5) для пуска основного двигателя *M1* необходимо включить главный рубильник *QF* и выключатель *SA1* в цепи управления магнитным пускателем *KM1*. Размыкающий блок-контакт *KM21* замкнут, через катушку контактора *KM1* протекает ток, контактор *KM1* замыкает главные контакты *KM1* в цепи управления двигателем *M1*. После этого включают *SA2*, подготавливая цепь управления резервным двигателем *M2* к автоматическому пуску при аварийном останове основного двигателя *M1*. Если срабатывает тепловое реле *KK1* или *KK2*, контактор *KM1* разомкнет главные контакты *KM1* и одновременно замкнет блок-контакт *KM11* в цепи управления резервным двигателем, осуществляя его пуск.

15.5. Аппаратура цепей дистанционного управления

Для реализации схем управления электроприводом выпускается приводимая в действие вручную и автоматизированная, включаемая с помощью соответствующих устройств или реле аппаратура. Ее выбор зависит от вида тока, напряжения, мощности привода и типа электрической защиты. По роду защиты от внешнего воздействия она подразделяется на открытую (без кожуха), защищенную (с кожухом и защитой токоведущих частей) и закрытую (герметическую и взрывобезопасную). Функционально аппаратура автоматики делится на четыре основные категории: пусковую, управления, защиты и командоаппараты.

Самым ответственным элементом электрических цепей и устройств принято считать контакты, определяющие в целом их надежность. Различают контакты неподвижные (клеммы) и подвижные, которые классифицируют в зависимости от вида соприкасающихся узлов на поверхностные (плоскостные), линейные и точечные. По характеру действия на цепь подвижные контак-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ты могут быть нормально открытыми (разомкнутыми) НО и нормально закрытыми (замкнутыми) НЗ. В последнее время в схемах автоматики получили распространение магнитоуправляемые герметические контакты (герконы), впаянные в герметический стеклянный балончик и приводимые в действие электромагнитом, например ферритом.

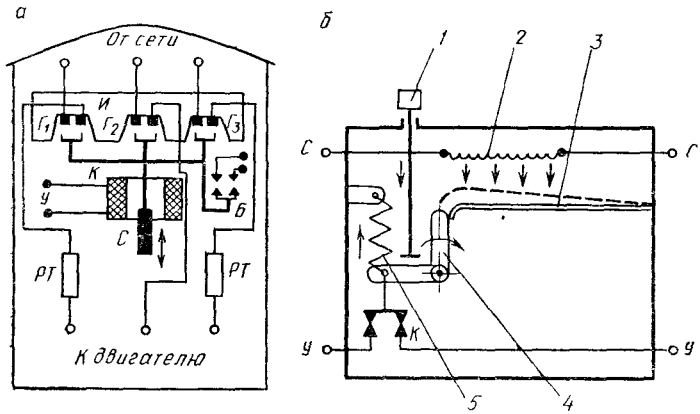


Рис. 15.6

Контактор — электромагнитный выключатель, устройство которого аналогично устройству реле (только рассчитано на более мощные токи), служит для переключений в главной цепи электродвигателя. Обычно контактор имеет от одной до пяти пар контактов (полюсов), главные и вспомогательные, например блок-контакты для кнопочного управления СДУ. Срок службы контакторов составляет до $3 \cdot 10^7$ включений, время срабатывания — 0,04...0,25 с, отпускания — 0,07...0,17 с.

Магнитный пускатель — контактор, оборудованный тепловыми реле *РТ* и искрогасителями *И* (рис. 15,6, *а*). На рисунке показаны главные контакты $Г_1...Г_3$, блок-контакты *Б*, силовая катушка *К* с сердечником *С*.

В качестве защитного устройства при небольших, но длительных перегрузках обычно используется тепловое реле, схема которого приведена на рис. 15.6, *б*. В силовую цепь *С* включается нагревательный элемент *2*, который в нормальном режиме не оказывает никакого влияния на помещенную под ним биметаллическую пластину *3*, находящуюся в зацеплении с двуплечим рыча-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

гом *4*, нагруженным пружиной *5*. Последняя стремится повернуть рычаг и разомкнуть контакты *К*, включенные в цепь управления *У*. Этому мешает биметаллическая пластина, играющая роль своеобразного стопора. При перегрузке ток (на 10...20% больше номинального) нагревает элемент, пластина изгибается, освобождает рычаг — цепь управления размыкается, выключается контактор, а вместе с ним и двигатель. После устранения причины перегрузки кнопкой возврата *1* восстанавливают исходное положение рычага теплового реле (спустя 2...3 мин). При чрезмерных перегрузках (ток превышает в 2,5 раза номинальный) и коротких замыканиях используются плавкие предохранители из легкоплавкой проволоки, помещенной в трубчатый защитный (фаянс, керамика) корпус, заполненный кварцевым песком.

В схемах электропривода широко применяются электромагнитные реле, выполняющие функции управления, защиты и блокировки. Они подразделяются по виду величины срабатывания на токовые, частотные и реле напряжения. Защитные реле настраиваются на определенный ток, напряжение или частоту, превышение или понижение которых (максимальные или минимальные, нулевые реле) приводит к их срабатыванию. Как правило, все реле — быстродействующие, исключением являются реле времени, которые производят коммутацию спустя определенное время — от долей секунды до десятков минут и более. В качестве механизмов выдержки времени используют экраны, часовые механизмы, гидравлические и пневматические демпферы. Реле, предназначенные для усиления и размножения командного импульса, имеющие до 20 контактов, называют промежуточными.

Командоаппараты представляют собой включающие и переключающие устройства, необходимые для ручного управления электроприводом. Наиболее простыми командоаппаратами являются рубильники, служащие для включения и отключения цепей, находящихся под напряжением, но ток по которым не проходит (исключение составляют слаботочные цепи). Разновидностью являются пусковые ящики, применяемые в сырых и загазованных помещениях, имеющие в своем комплекте плавкие предохранители. Пакетные выключатели (ключи) отличаются

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

компактностью при довольно большой разрывной мощности (60 А при 380 В). Широкое распространение получили кнопочные командоаппараты, или кнопочные станции, которые представляют контактные устройства, позволяющие производить простые операции ручного управления. Кнопочные станции подразделяются на ручные и ножные, с самовозвратом и фиксацией.

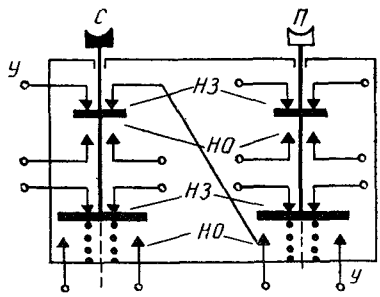


Рис. 15.7

Они могут быть одноцепными и многоцепными, т. е. предусматриваются переключения внутри самой кнопочной станции. Простейшая кнопочная станция (рис. 15.7) обычно имеет две кнопки «Пуск» и «Стоп» с НО и НЗ контактами и электрическую схему, позволяющую подключать ее в цепь управления к магнитному пускателю и к другим устройствам. Более сложные кнопочные станции могут иметь до 12 кнопок.

При наличии большого числа цепей управления используются барабанные и кулачковые командоконтроллеры со скользящими контактами, позволяющие осуществлять более сложные переключения.

К командоаппаратам относят иногда путевые и конечные выключатели, применяемые для обеспечения безопасной эксплуатации установок и их узлов, а также управления отдельными производственными операциями. Путевой выключатель в зависимости от перемещения объекта, пройденного пути переводит электродвигатель на режим торможения, реверса (например, возвратно-поступательное движение суппорта станка) и т. д. Для отключения электродвигателя при достижении объектом крайних положений (положение «открыто — закрыто» поворотной заслонки в трубопроводе) служат концевые (конечные) выключатели. Воздействие на эти устройства — механическое.

Для электродвигателей постоянного тока и асинхронных двигателей с фазным ротором применяют пусковые реостаты, которые обеспечивают требуемую плавность хода и ограничение пусковых токов в требуемых пределах. Известны металлические и жидкостные

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

(раствор Na_2CO_3 в воде) реостаты с системой воздушного, масляного или водяного охлаждения. Определяющим фактором при выборе реостата является выделяемая теплота, зависящая от пускового тока, продолжительности и частоты пусков.

В современных регулируемых электроприводах насосов, компрессоров, вентиляторов могут использоваться для изменения частоты вращения индукторные муфты скольжения, схема асинхронно-вентильного каскада, тиристорные преобразователи и вентильные двигатели, позволяющие также эффективно экономить электроэнергию. Например, замена в управлении дымососами направляющих аппаратов индукторными муфтами или преобразователями может дать экономию до 7%.

Глава 16. АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Этой главой начинается изучение принципов автоматизации отдельных систем теплогазоснабжения и вентиляции. Изложение материала основано на рассмотрении обобщенных схемных решений наиболее характерных установок, систем, технологических процессов.

По учебному плану дисциплины «Отопление», «Теплоснабжение», «Горячее водоснабжение» преподаются в соответствующем порядке. Такой подход необходим при изучении функционирования отдельных систем, овладении методикой расчета и конструирования их элементов. Однако эти системы выступают в роли подсистем в большой системе «источник — преобразователь — потребитель» (И—П—П). При ее эксплуатации, т. е. в ходе управления функционированием системы, необходимо рассматривать действие подсистем во взаимосвязи, на системной основе.

16.1. Основные принципы автоматизации

Примерно 85% теплоты, потребляемой городами и поселками, обеспечивается централизованным теплоснабжением, которое осуществляется от ТЭЦ, районных тепловых станций и квартальных котельных. Для цент-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

рализованного теплоснабжения характерна разнотипность подключаемых потребителей — систем отопления, горячего водоснабжения, вентиляции, промышленно-технологических объектов и т. п.

Главным элементом в структуре указанной системы является потребитель, на удовлетворение требований которого и направлено функционирование системы теплоснабжения.

Основными целями автоматизации теплоснабжающих систем является обеспечение: теплового и санитарно-гигиенического комфорта потребителя; поддержания заданных гидравлических режимов в различных звеньях системы, включая защиту от аварийных ситуаций; экономии топлива, теплоты и электрической энергии; эффективности и надежности, качества работы основного оборудования систем.

Современные принципы автоматизации существенным образом зависят от эволюции самих принципов теплоснабжения, рассмотрение которых позволяет ввести понятие ступеней управления теплоснабжением на основе совместного функционирования систем теплоснабжения и теплопотребления.

На раннем этапе существовало только индивидуальное ручное управление тепловыми режимами помещений (зданий). С появлением центрального отопления точка приложения управляющего воздействия переместилась в котельную, хотя и оставалась возможность индивидуального управления тепловым режимом помещений.

Внедрение централизованного теплоснабжения заставило вести процесс управления в его источнике, еще дальше отнеся точку приложения управляющего воздействия. Этот первый период становления автоматизации ТГВ, довоенный, характеризовался небольшой площадью застройки городов, малой и средней этажностью в основном массивных зданий из кирпича, небольшой протяженностью коммуникаций, незначительной долей нагрузок горячего водоснабжения и вентиляции и т. д. Все это позволяло системам теплоснабжения и отопления функционировать при низком уровне автоматизации.

Когда строительная промышленность встала на индустриальную основу, появились новые строительные материалы, снизилась массивность зданий, увеличилась воздухопроницаемость их ограждений и влияние радиационных температур, возросла протяженность коммуни-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

каций, а теплопотери современных зданий увеличились почти вдвое. Необходимо было иначе подходить к принципам автоматизации систем теплоснабжения и теплопотребления, исходя из новых структур систем. Точка приложения управляющего воздействия опять стала перемещаться к потребителю — в центральные (групповые), индивидуальные (местные) тепловые пункты и т. п.

Рассмотрим характерные особенности автоматизации. Функционирование системы И—П—П, характеризующейся сложным комплексом установок и устройств, отличается непрерывностью и взаимосвязанностью режимов в отдельных звеньях. Характер технологических процессов, в особенности гидроаэродинамических и тепломассообменных, нестационарен и сложен. Режимы отпуска теплоты и потребности в ней различны по отношению к определяющим параметрам — температуре наружного воздуха и времени. Так, потребление теплоты системой горячего водоснабжения (СГВ) не зависит от наружной температуры, резко меняется в течение суток и круглогодично. Система отопления имеет прямо противоположные характеристики, а система вентиляции отличается от обеих систем. Уровень автоматизации определяется технологической схемой системы (схема подключения, вид теплоносителя и т. д.) и принятым способом управления (регулирования). Характеристики потребителя (тип, назначение, архитектурно-строительные особенности, требования комфорта и т. п.) часто играют решающую роль при определении схемы автоматизации.

Определяющим элементом системы И—П—П следует считать потребителя теплоты. Например, по данным ООН, в Европе 60% общего количества потребляемой энергии расходуется не на материальное производство, а для создания комфортных условий жизнедеятельности людей.

В настоящее время принято многоступенчатое управление тепловым режимом потребителей, причем рациональное сочетание ступеней зависит от ряда факторов, и его определение является пока довольно сложной задачей.

Различают следующие основные ступени управления (рис. 16.1): централизованное (на ТЭЦ, в котельной); групповое (в КРП, ГТП); местное (в МТП, микрокотельных); зональное (пофасадное, поэтажное, секционное в

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

зданиях); индивидуальное (в отдельных помещениях и малых зданиях).

Сочетание ступеней влияет на уровень комфортности (чем ближе к потребителю, тем выше уровень), и в то же время увеличивается число регуляторов и, соответственно, капитальные и эксплуатационные затраты.

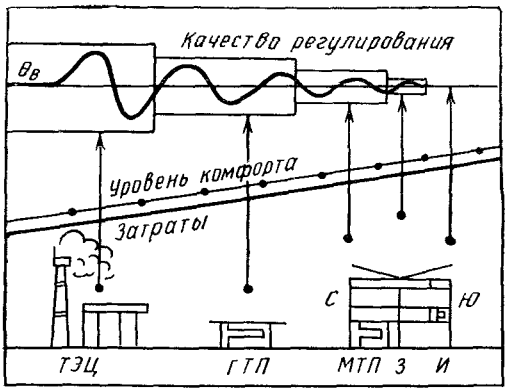


Рис. 16.1

По отношению к температурному режиму в помещении количественные или количественно-качественные воздействия могут расцениваться только как управляющие. В связи с этим нетрудно классифицировать соответствующие системы в зависимости от исходных сигналов и принципов управления (по отклонению, по возмущению, программных, комбинированных и др.).

На рис. 16.2 приведена упрощенная схема системы теплоснабжения от ТЭЦ, на которой условно показаны основные параметры и их принадлежность к подсистемам управления (в квадрате) или автоматической защиты (в треугольнике).

На теплоподготовительной установке (ТПУ) ТЭЦ регулируется давление перед сетевыми насосами *1* и обеспечивается защита от повышения давления за подогревателями *2* и котлами *3*, регулирование уровня и защита подогревателей от переполнения и регулирование деаэраторов *4*. В насосной *(НП)*, помимо дистанционного управления насосами *5*, поддерживается давление перед ними и предусматривается защита от повышения давления.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

На примере двух вариантов присоединения абонентов через *ГТП* и без него показано управление отпуском теплоты на отопление *8*, вентиляцию *9* и горячее водоснабжение *7* (*6* — насосы смешения). Предусматривается регулирование перепада давления во избежание гидравлической разрегулировки тепловой сети, а также давления в обратной магистрали. В отдельных

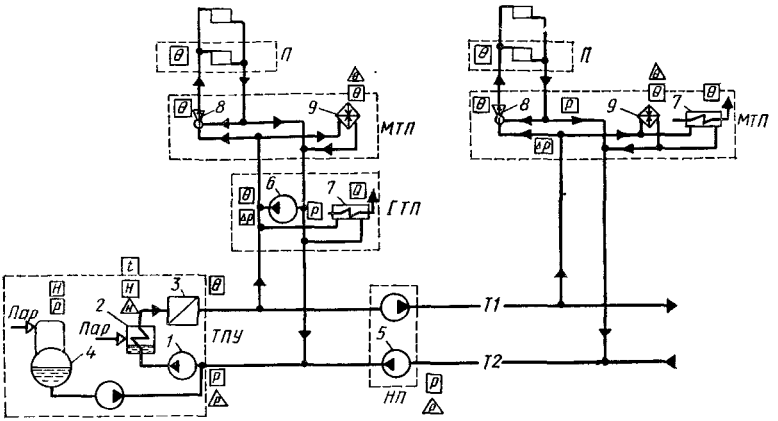


Рис. 16.2

помещениях *П* могут быть установлены индивидуальные терморегуляторы (не показаны).

Среди перспективных направлений развития теплоснабжения, влияющих на принципиальные решения в области автоматизации, необходимо отметить использование теплоносителя высоких параметров, тепловых насосов, геотермальной, солнечной, ядерной энергий, энергии ветра и биомассы.

16.2. Автоматизация районных тепловых станций

Технологическая схема простейшей районной тепловой станции (РТС) показана на рис. 16.3. Компоновка станции — котельный и машинный залы разобщены или совмещены (разомкнутая и сомкнутая схемы) — существенно влияет на автоматизацию технологического процесса, так как при этом пульт управления либо располагается между залами, либо выносится в отдельное помещение. Система водоподготовки зависит от принци-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

пиальной схемы водоразбора: в закрытой можно ограничиться натрий-катионитовыми фильтрами, в открытой устанавливается дополнительное оборудование. На схеме не показан топливоподготовительный узел жидкого и твердого топлива. Для мазута предусматриваются подземные или надземные хранилища — резервуары с подогревом сетевой водой, из которых радиальными насосами мазут подается к форсункам. Автоматически ре-

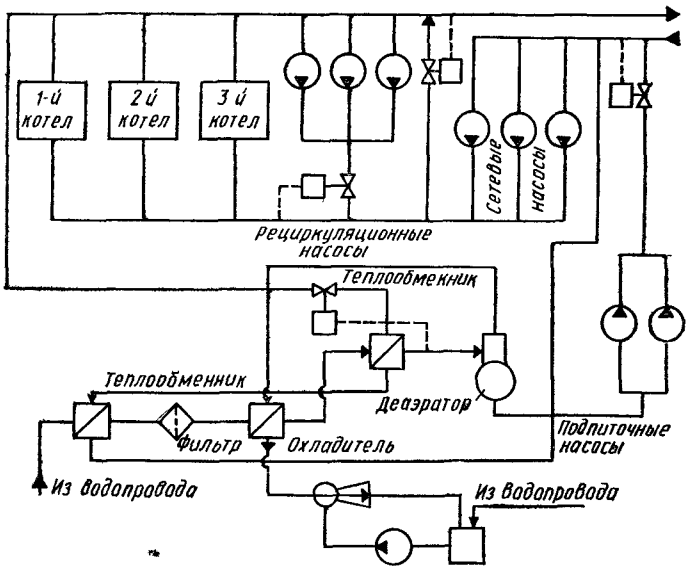


Рис. 16.3

гулируются температура и давление топлива. Если станция работает на систему с открытым водоразбором, в схему включают баки-аккумуляторы горячей воды.

Как видно из схемы, РТС представляет довольно сложный комплекс взаимосвязанных устройств, каждое из которых, например котельная установка, в свою очередь является сложной системой.

Приведем перечень основных задач автоматизации РТС: обеспечение установленного режима работы станции в целом и отдельных ее установок; бесперебойное теплоснабжение; контроль за параметрами теплоносителя отдельных установок и оборудования; учет количества теплоты и экономичное использование топливно-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

энергетических ресурсов; безаварийная эксплуатация систем и оборудования; защита окружающей среды от загрязнения.

Обеспечение температурных параметров теплоносителя по заданной программе осуществляется по температурным графикам (отопительному, повышенному и т. д.), составленным на основании условий стабилизации внутренней температуры потребителей.

Регулируется температура теплоносителя в соответствии со схемой и компоновкой РТС в водогрейных котлах или подогревателях (основных и пиковых) в зависимости от определяющего параметра — температуры наружного воздуха.

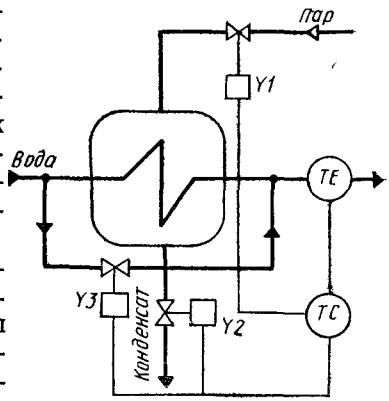


Рис. 16.4

При подготовке теплоносителя в подогревателях регулирование температуры сетевой воды может осуществляться следующими способами: изменением уровня конденсата (затоплением) в подогревателях, когда меняется площадь активной поверхности и характер теплообмена (вместо схемы «пар—вода» имеет место схема «вода—вода»), в этом случае обычно используют автоматические конденсатоотводчики; дросселированием пара, поступающего в подогреватели (как правило, пиковые); перепуском воды через обводную линию, минуя подогреватели (обычно основные).

Предпочтение отдают первому и последнему способам, так как дросселирование пара не обеспечивает необходимого качества регулирования вследствие большой инерционности объекта (эффект регулирования прослеживается только после конденсации пара). Например, динамическая постоянная $T_z = 1$ мин, а емкостное запаздывание $\tau_e = 20$ с.

Варианты регулирования температуры теплоносителя дросселированием *Y1,* затоплением *Y2* и перепуском *Y3* показаны условно на рис. 16.4. В схемах обычно используется изодромный электронный регулятор РПИБ-С с терморезисторным датчиком температуры.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

16.3. Автоматизация насосных установок

Работа сетевых насосов связана с транспортировкой больших объемов воды, что устанавливает принадлежность тепловых сетей к объектам высокой инерционности. Об этом свидетельствует тот факт, что скорость воды и давление после прекращения работы насоса падают еще около 40 с.

В связи с этим в схеме автоматизации сетевых насосов (автоматическая блокировка) должны предусматриваться пуск и останов радиальных насосов при открытых запорных органах на магистралях и ступенчатый пуск насосов с применением автотрансформаторов или гидромуфт, электродвигателей с фазным ротором или реактивных статорных резисторов.

Аварийный останов сетевых насосов сопровождается резким повышением давления в обратной магистрали. Поэтому необходимо также предусматривать автоматический пуск резервных насосов с частично или полностью открытой задвижкой, чтобы сократить время восстановления нормального режима и избежать гидравлического удара в системе. Следовательно, надо стремиться к большему быстродействию устройств системы дистанционного управления электродвигателями насосов и запорных органов.

Для изменения давления и пропускной способности тепловой сети на подающих и обратных магистралях устанавливаются насосные подстанции. Наибольшее распространение получили автоматические подстанции на обратных магистралях, в схемах автоматизации которых, помимо обычных для дистанционного управления подсистем (например, при подстанциях на подающей магистрали), предусматривается автоматическое регулирование давления во всасывающем коллекторе насосов. Регулирование обычно осуществляется дросселированием на напорном трубопроводе насосной подстанции, на обратной или на подающей магистрали тепловой сети, а также перепуском мимо насосов.

На рис. 16.5 приведена примерная схема автоматизации насосной подстанции, в которой предусматривается: блокировка насосов при включении резерва, блокировка приводов насоса и задвижки, регулирование давления во всасывающей магистрали, а также сигнализация о превышении нормативной температуры под-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

шипников, понижении давления после насосов и перед ними. Не показана подсистема блокировки насосов подстанции с сетевыми насосами, которые должны работать во взаимосвязи во избежание опрокидывания циркуляции и недопустимого повышения давления. Применяются электрическая блокировка с помощью традиционных релейно-контакторных схем и электрогидравлическая, основанная на естественной гидравлической связи между насосами в самой системе. В качестве регулятора используется электроконтактный манометр, контакты ко-

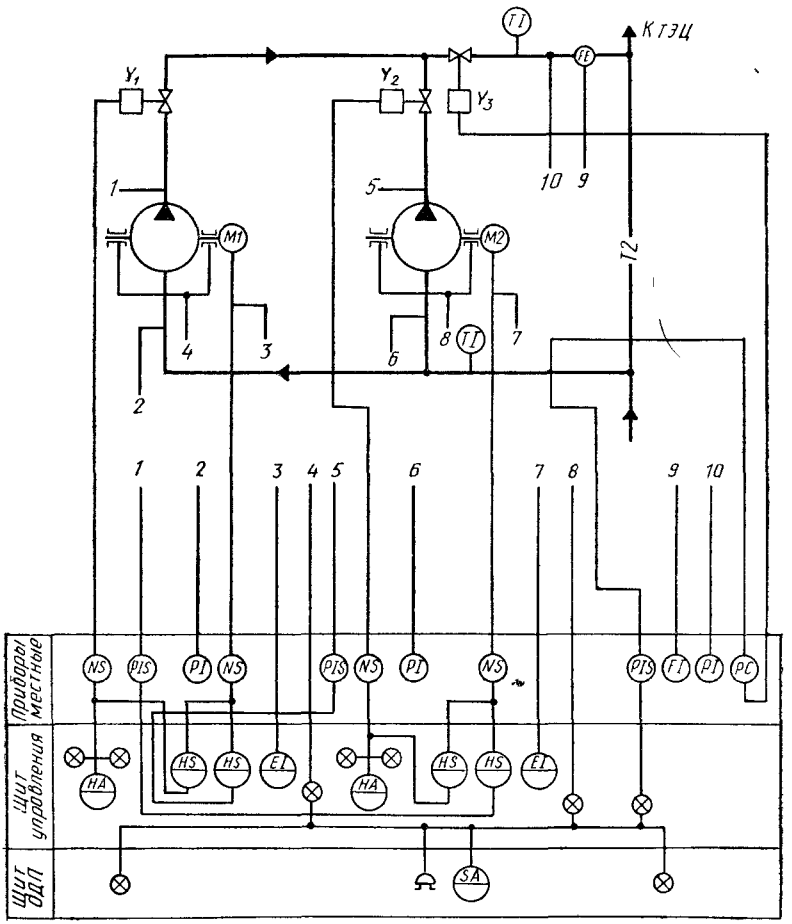


Рис. 16.5

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

торого под действием импульсов по давлению, включенные в цепи управления сетевых насосов и насосов подстанции, осуществляют блокировку насосов.

Объем автоматизации подстанций позволяет полностью отказаться от обслуживающего персонала и без особых трудностей включить ее в систему диспетчеризации теплоснабжения.

16.4. Автоматизация подпитки тепловых сетей

Подпитка тепловой сети служит для восполнения утечек и поддержания (фиксации) давления в заданных пределах и производится при работе и бездействии сетевых насосов.

Обеспечение необходимого баланса между утечкой и подпиткой может осуществляться с помощью подпиточного насоса, подпиточных резервуаров-баков или гидрофоров (резервуар под давлением воздуха или пара).

Существует ряд технологических схем подпитки, но наибольшее распространение получили схемы подпитки с импульсом по давлению — в нейтральной точке *Н* на эквивалентной ветви тепловой сети (перемычке) или в нейтральной точке на обратной линии перед насосом.

Одна из принципиальных схем показана на рис. 16.6. Регулятор прямого действия *РС* управляет подпиткой от бака-аккумулятора *А* или насоса *ПН*. В схемах чаще используется гидравлический регулятор непрямого действия РД-3а с усилителем типа сопло — заслонка и мембранным исполнительным устройством (системы ОРГРЭС).

При подпитке открытой системы теплоснабжения используются двухимпульсные регуляторы давления на

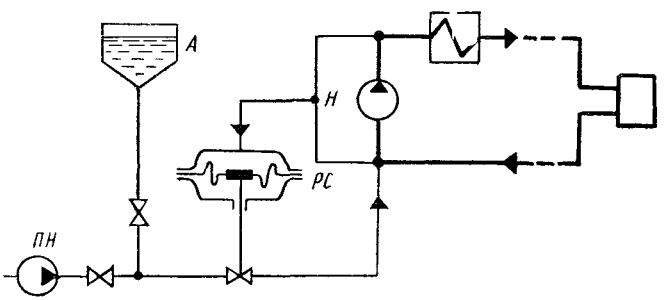


Рис. 16.6

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

базе электронного изодромного регулятора РПИБ-III, которые, кроме основного импульса по давлению, получают еще второй от дифманометра МЭД по расходу воды в обратном трубопроводе.

В схемах подпитки также предусматривают регуляторы максимального давления, которые при повышении давления сверх заданного при закрытом регуляторе подпитки сбрасывают воду из системы.

16.5. Автоматизация конденсатных и дренажных устройств

Эти функционально разные элементы теплоснабжающей системы объединяет общий принцип управления — многопредельное регулирование уровня жидкости.

В подогревателях уровень конденсата должен поддерживаться с точностью ± 200 мм и предусматривается защита от переполнения. Импульс по уровню от дифманометра передается изодромному или статическому регулятору, который воздействует на клапан с электроприводом на конденсатопроводе. Кроме того, сигналом для регулирования уровня конденсата может служить температура воды за подогревателями. Датчик температуры гидравлического регулятора непрямого действия аналогично описанному выше действует на регулирующий клапан в линии конденсатоотвода. Это типичный пример косвенного измерения регулируемой величины. При переполнении подогревателя предельный регулятор закрывает регулирующие органы на паропроводе и трубопроводах сетевой воды с одновременной сигнализацией.

На конденсатных подстанциях в сборных баках необходимо поддерживать два предельных уровня воздействием на схему дистанционного управления конденсатными насосами. При достижении верхнего уровня насос включается, нижнего — выключается.

При перекачке конденсата необходимо следить за его солесодержанием. Автоматический солемер при превышении допустимой концентрации отключает подогреватели или выключает привод насосов.

Дренаж для осушения узлов тепловой сети, в которые попадает грунтовая и технологическая вода, обычно осуществляется автоматически с помощью электронасосов обычного исполнения и погружного типа. В первом случае необходимо обеспечивать постоянный залив насоса

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

при переменном режиме его работы, что достигается установкой во всасывающей магистрали специальной аккумулирующей камеры.

На рис. 16.7 приведена принципиальная схема (фирма «Flygt» — Швеция) откачки дренажных вод из колодца *8* погружными электронасосами *1*, один из кото-

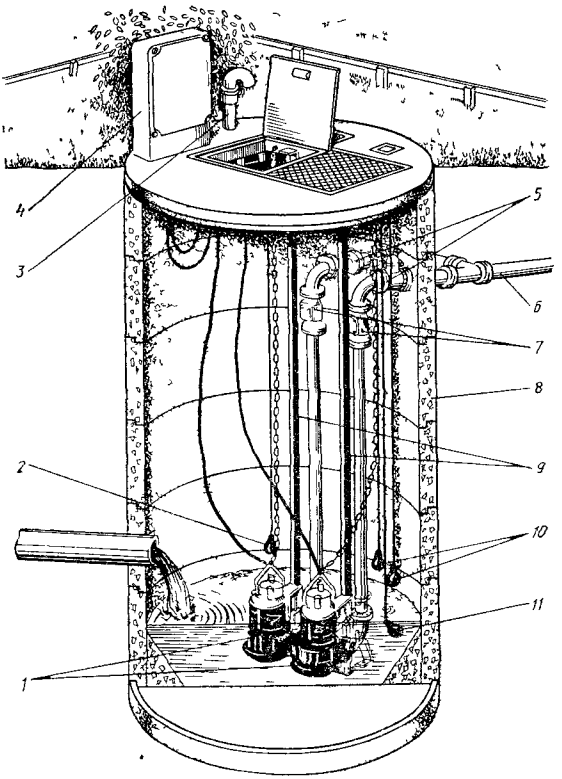


Рис 16 7

рых — резервный. При необходимости ревизии или ремонта насос может быть поднят по направляющим штангам *9*. Дренажные воды сбрасываются в подающую магистраль *6*, на которой имеются обратные клапаны *7* и дистанционно управляемые задвижки *5*. Подвешенные на соединительных кабелях датчики-поплавки *2, 10, 11* с размещенными внутри ртутными контактами включают насос при достижении верхних уровней *(10)* и выключа-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ют при нижних уровнях *(11)*. При аварийном переполнении датчик *2* включает резервный насос. Наружу выведены пульт управления *4* и вентиляционный патрубок *3*.

При наличии на объекте технологического пара в качестве насоса может быть использован эжектор, управление которым осуществляется соленоидным клапаном на паровой магистрали.

16.6. Автоматическая защита тепловой сети от повышения давления

Регулирование давления в тепловой сети — основная задача поддержания ее гидравлического режима. Однако может возникнуть аварийное повышение давления по причине неправильной подпитки, внезапного закрытия запорных органов в обратной магистрали или остановки сетевых насосов или насосов подстанции и ряду других причин.

Защиту тепловой сети можно осуществлять сливом избыточного объема воды на головном участке сети, дросселированием давления предохранительными или редукционными клапанами, рассчитанными на определенный перепад давления, и путем отключения (отсечки) защищаемого участка от остальной сети. Последний способ «рассечки» на две гидравлически независимые зоны представляет современную автоматическую систему, часто применяемую на практике. Автомат защиты разработан на базе гидравлического регулятора непрямого действия с усилителем типа сопло — заслонка.

На схеме (рис. 16.8) показано, как осуществляется одновременное регулирование давления и разобщение тепловой сети. Для этой цели применен двухточечный двухкаскадный регулятор давления-защиты, разработанный ОРГРЭС, состоящий из четырех основных блоков: двух измерительно-усилительных трехсильфонных РД-3а-I — защиты и РД-3а-II — давления перед насосами, усилителя второго каскада *У2* и общего мембранного регулирующего клапана с противовесом РК-1.

Оба измерительно-усилительных блока соединены импульсной линией *И* параллельно, но функционируют последовательно, так как настроены на разные давления. Основную роль выполняет регулятор давления, который действует при понижении давления следующим образом:

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

импульс об изменении давления передается в сильфонную камеру *К* и заставляет сильфоны *С* растянуться и поднять связанную с ними заслонку *З*. Теперь рабочая вода, создававшая давление в надмембранной полости *Н* по линии *Р*, имеет возможность сливаться в дренаж *Д*, давление в полости упадет. Клапан под действием противовеса откроется, восстановив давление в сети. При повышении давления действие будет обратным. Регулятор работает с определенной неравномерностью, не допуская полного закрытия клапана, которое возлагается на автомат защиты.

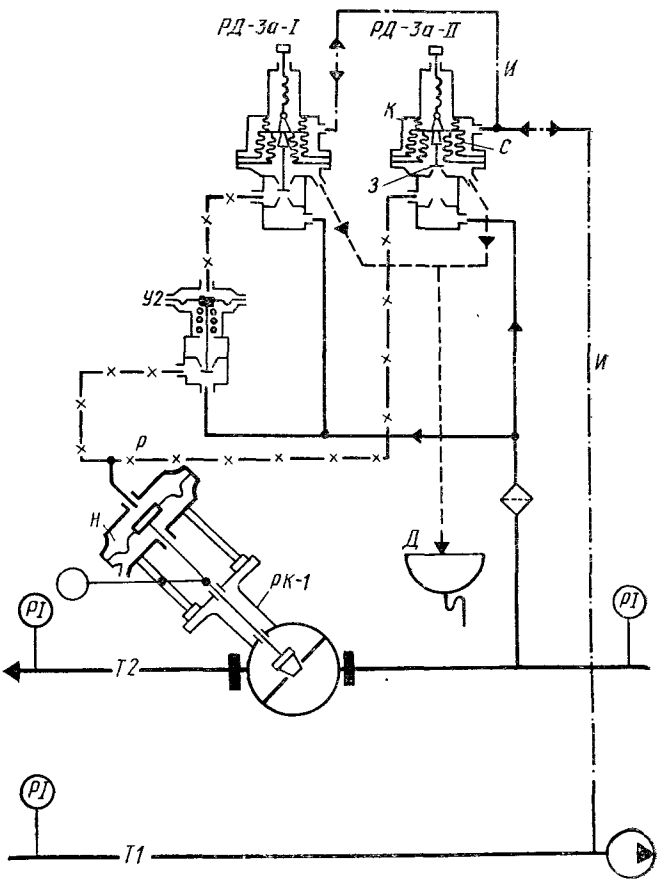


Рис. 16.8

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Действие автомата защиты, настроенного на предельное давление, аналогично рассмотренному регулятору с той разницей, что рабочая вода после усилителя РД-3а-I идет на привод мембранного усилителя второго каскада *У2,* который реализует позиционный закон — закрывает *РК*, разобщая тем самым верхнюю и нижнюю зоны тепловой сети.

Автоматическая рассечка применяется не во всех случаях. Иногда заданное давление в различных точках обратной магистрали можно обеспечить сокращением расхода воды при помощи разгруженных двухседельных клапанов с регулируемой протечкой.

16.7. Автоматизация групповых тепловых пунктов

Появление в схемах управления теплоснабжением дополнительных ступеней, одной из которых является ГТП, поставило задачу автоматизации этого узла.

На первых этапах автоматизации подлежало поддержание температуры в СГВ и постоянного расхода теплоносителя на вводе, управление циркуляционными насосами систем горячего и холодного водоснабжения, системы отопления и включение циркуляционного теплопровода СГВ, как подающего. В зависимости от схемы, оборудования и местных условий этот объем автоматизации мог изменяться.

Но самые существенные изменения произошли в связи с необходимостью управления отпуском теплоты на основной вид тепловой нагрузки — отопление — не только в теплоисточнике, но и по пути к потребителю. Это обусловлено рядом возмущающих факторов, возникших в результате эволюции теплоснабжающих систем, жилищного строительства и т. д. Например, разница в температурах наружного воздуха в центре Ленинграда и в его микрорайонах может доходить до 4..5 °С, в Минске— до 3...4 °С. Известно, что при нагреве отапливаемых зданий только на 1 °С увеличивается расход теплоты примерно на 5% в год.

Задача обеспечения комфортных тепловых режимов отапливаемых зданий при максимальной экономии топливно-энергетических ресурсов привела к необходимости разработки ряда схем группового автоматического управления отпуском теплоты в ГТП.

Основными схемами присоединения установок горячего водоснабжения в СССР и ряде социалистических

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

стран являются двухступенчатая последовательная и смешанная, хотя и встречается параллельное включение с емкостными подогревателями. В последнее время наметилась тенденция к усложнению схемы регулирования горячего водоснабжения с целью повышения эффективности использования поверхностей нагрева ступеней подогревателей. Так, во фрагменте схемы автоматизации

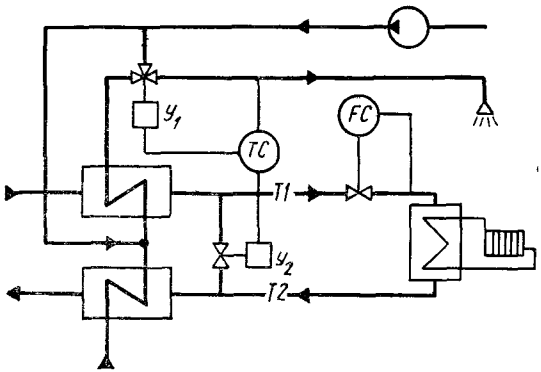


Рис. 16.9

ГТП (рис. 16.9) регулятор *ТС,* выполняя одну задачу, обеспечивает следующий алгоритм функционирования. При достаточном количестве теплоты на отопление и горячее водоснабжение *У2* закрыт, *У1* поддерживает нужную температуру, схема включения — последовательная. Нехватка теплоты приводит к полному открытию *У1,* а регулирование осуществляет *У2,* который открывает перемычку для увеличения расхода сетевой воды, *FC* — стабилизатор расхода на отопление.

Рассмотрим более подробно, как осуществляется групповое управление отпуском теплоты на примере схемы, показанной на рис. 16.10. В ней предусматриваются смесительный насос *СН* и три автоматических регулятора: *ТС(1)* — температуры воды на горячее водоснабжение, *ТС(2)* — температуры воды на отопление и *FC*— расхода воды на отопление. *ТС(2)* получает сигналы от двух датчиков: *ДМУ* — датчик метеоусловий и *ТЕ* — датчик температуры теплоносителя, и в зависимости от заданного сочетания температур управляет подачей первичного теплоносителя. *FC* поддерживает в квартальных сетях заданный расход воды на отопление в зависимости от перепада давления или температуры (не показано).

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Такая схема используется при смешанном подключении подогревателей в закрытых сетях, а также в открытых системах теплоснабжения и обладает хорошей маневренностью и надежностью при нарушениях теплового и гидравлического режимов. Однако существует необходимость проверки устойчивости работы последовательно включенных регуляторов, исходя из условий автономно-

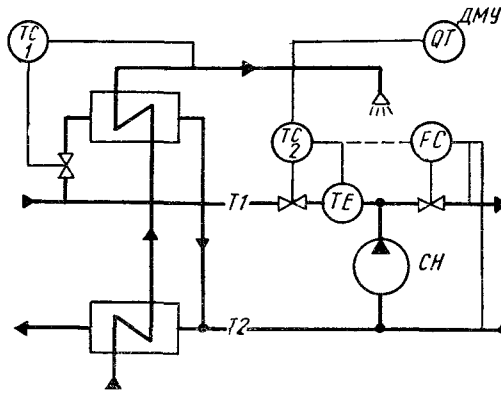


Рис. 16 10

сти, что относится и к другим схемным решениям при автоматизации ГТП и МТП. В рассмотренной схеме пунктиром показана возможная связь между обоими регуляторами.

Как указывалось ранее, температура воздуха в пределах городов-мегаполисов может значительно различаться, но, помимо нее, на тепловой режим зданий оказывают существенное влияние такие внешние возмущающие воздействия, как инсоляция, ветер и ряд других факторов. В рассмотренной схеме *ДМУ* интегрирует локальное действие указанных метеофакторов, и тем самым вносится поправка к централизованному управляющему воздействию, т. е. имеет место управление по отклонению с коррекцией по возмущению.

Разнообразие технологических схем ГТП накладывает отпечаток на разработку новых средств автоматизации. Так, расчетный расход сетевой воды в смешанной схеме примерно в 1,5 раза выше, чем в последовательной, что потребовало применения специального регулятора-ограничителя максимального расхода. В других схемах, на-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

пример при применении регулятора Т-48, регулируется разность температур воды до и после отопительного ввода и т. д.

Одним из направлений централизованного теплоснабжения является сооружение теплораспределительных станций (ТРС) тепловой мощностью 20...30 МВт на границе между магистральными и распределительными сетями, выполняющих функции ГТП и КРП. При этом сокращается численность обслуживающего персонала и появляются благоприятные предпосылки для диспетчеризации и телемеханизации теплоснабжающих систем и внедрения АСУ ТП теплоснабжения.

Общие принципы выбора систем автоматизации централизованного теплоснабжения предполагают учет: общей тепловой нагрузки теплосети и отдельных потребителей; числа зданий, сооружений, групп объектов, подключенных к тепловым сетям; структуры технологических схем теплоснабжения, определяющей принципы распределения энергии; способов подключения систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения; предполагаемых алгоритмов управления.

Экономия теплоты при автоматизации ГТП составляет 5...10% годового расхода теплоты на отопление при окупаемости средств автоматизации за 2...4 года.

Глава 17. АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЯ

Главными потребителями теплоты являются системы отопления зданий и сооружений, горячего водоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха. Поскольку управление или регулирование тепловыми и гидравлическими режимами в этих системах производится в месте отпуска теплоты — местном тепловом пункте, рассматриваемую ступень часто называют местным управлением (регулированием). Автоматизация МТП целесообразна при отсутствии промежуточных ступеней (ГТП, КРП, ТРС), а при их наличии может улучшить качество управления, но требует учета характера совместной работы абонентских вводов с указанными установками.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

17.1. Автоматизация систем горячего водоснабжения

В схемах автоматизации СГВ практически повторяются принципы, заложенные в схемах автоматизации ГТП, хотя в первую очередь они определяются технологической схемой водоснабжения — закрытой или открытой, видом теплоносителя, наличием баков-аккумуляторов, технологической схемой МТП и т. д.

Различают два основных метода приготовления горячей воды заданной температуры: централизованный — на всех индивидуальных потребителей в МТП и индивидуальный — с установкой индивидуальных терморегуляторов в каждом месте разбора воды.

На рис. 17.1 показаны три схемы автоматического регулирования СГВ при закрытой и открытой водяных системах и при пароснабжении (*TC, FC* и *LC* — регуляторы температуры, расхода и уровня соответственно). Способ регулирования (рис. 17.1, *а*) похож на рассмотренный для смешанной двухступенчатой схемы, однако при последовательной схеме колебания температуры сетевой воды перед нижней ступенью будут меньшими. Схема на рис. 17.1, *б* с трехходовым регулирующим клапаном смешения совершеннее по качеству регулирования, чем схема с обычным двухходовым клапаном. С другой стороны, при малых нагрузках горячего водоснабжения температура обратной воды в теплосети повышается, что нежелательно.

Непосредственное присоединение системы горячего водоснабжения через бак-аккумулятор показано на рис. 17.1, *в*. Пар при барботаже нагревает воду, поступающую в бак из водопровода. Регулируются уровень в

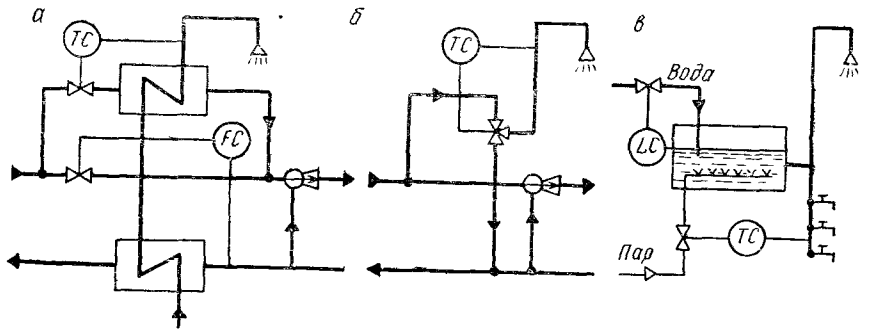


Рис. 17.1

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

баке и температура горячей воды дросселированием пара, что не всегда эффективно.

Обычно средства автоматизации СГВ достаточно просты, используются преимущественно регуляторы прямого действия, биметаллические и манометрические (мембранные и сильфонные). Однако в последнее время предпочтение отдается более сложным гидравлическим регуляторам непрямого действия с ПИ- и ПИД-алгоритмами.

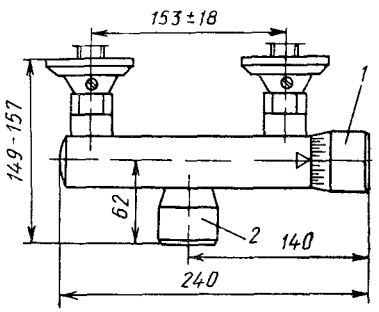


Рис. 17 2

Один из индивидуальных регуляторов температуры горячей воды, позволяющих существенно уменьшить ее бытовой расход, приведен на рис. 17.2. Это термостат фирмы «Kludi» (ФРГ), устанавливаемый на водоразборном смесительном устройстве. Регулятор прямого действия, манометрический, с задающим *1* и управляющим *2* маховичками выпускается в различных модификациях.

В настоящее время с особой остротой встал вопрос учета расхода горячей воды индивидуальными потребителями, для чего разрабатывается унифицированный, недорогостоящий и простой в эксплуатации расходомер. Кроме того, при проектировании и реконструкции крупных систем ГВ для обеспечения оптимальных циркуляционных расходов следует использовать регуляторы температуры прямого действия, снижающие поступление воды с высокой температурой.

Существенную проблему представляет защита от коррозии СГВ и, тем самым, систем регулирования, так как в них используется в качестве рабочей та же вода. Эта защита осуществляется автоматическим введением дозаторами силиката натрия (жидкого стекла).

17.2. Принципы управления тепловыми режимами зданий

Современные здания и сооружения являются крупнейшими потребителями тепловой энергии. А при напряженном топливно-энергетическом балансе с каждым годом

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

все большее значение приобретает ее экономное расходование. Например, подсчитано, что при расширении централизованного теплоснабжения объем теплопотребления каждое десятилетие удваивается. В этих условиях основной задачей автоматического управления тепловыми режимами зданий является экономное расходование топливно-энергетических ресурсов при обеспечении нормативного температурного режима в помещениях.

Существуют два основных способа управления тепловым режимом зданий: пассивный — за счет совершенствования характеристик строительной части зданий, инженерного оборудования, архитектурно-планировочных структур, и активный — воздействием на режимы систем инженерного оборудования зданий, в том числе автоматическим.

Срок эксплуатации современных зданий определен в 50...100 лет. При большом расходе теплоты на отопление затраты на нее окупаются весь этот срок. К числу пассивных способов снижения расхода теплоты следует отнести: оптимизацию теплозащиты ограждений, снижение инфильтрации и теплопотерь через светопрозрачные ограждения, рациональную планировку жилых и общественных зданий по высоте и в плане с использованием блоков помещений равной температуры, улучшение планировочных решений застройки и т. п.

Практические мероприятия по автоматизации необходимо рассматривать по отношению к новому и реконструируемому фондам. В последнем случае решения могут быть хотя и вынужденными, но более рентабельными. Поэтому при разработке проектов автоматизации нужно обязательно учитывать сложность городских инфраструктур.

Все это лишний раз подтверждает необходимость решения вопросов оптимального теплоснабжения системно, с уделением большого внимания физическим характеристикам объектов, так как их разнообразие, сложность тепло- и массообменных процессов, назначение, насыщенность системами инженерного оборудования во многом определяют эффект автоматизации.

Любые методы, способы и принципы управления должны быть направлены на обеспечение требуемого микроклимата в помещениях. Однако реализация этой главной задачи осуществляется разными системами автоматизации по-разному. Автоматизация МТП обеспечивает

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

некоторую среднюю «температуру здания» и тем самым «коллективный» комфорт, индивидуальное управление — соответственно индивидуальный. Экономия теплоты может составить в обоих случаях до 15 и 12%. При централизованном управлении в МТП автоматизируют отпуск теплоты, при индивидуальном — управляют температурой в помещении, тепловым режимом (комфортом). Считается, что для обеспечения теплового комфорта достаточно обеспечить амплитуду колебаний температуры $\theta_в$ в пределах 0,5...0,7 °С.

Автоматизация тепловых режимов основана на четырех принципах управления: по возмущению, по отклонению, комбинированном и программном в сочетании с двухпозиционным, П-, ПИ- и ПИД-алгоритмами. В качестве представительных величин используют: температуры наружного и внутреннего воздуха; температуры (прямую и обратную) теплоносителя; уровень инсоляций, скорость и направление ветра, расход сетевой воды и некоторые другие.

В зависимости от принципов управления, наличия отрицательной обратной связи будем классифицировать системы, как это сделано в параграфе 3.6.

Современные средства автоматизации стали весьма рентабельными, так как позволяют получить в целом экономию теплоты в пределах 32...39%: за счет регулирования температуры воздуха — 14%, использования «свободной теплоты» (бытовые тепловыделения) —

Табл. 17.1. **Устройства автоматического управления в системах теплоснабжения и теплопотребления**

Марка устройства	Давление среды, МПа	Диаметр условного прохода РО, мм	Диапазон настройки температуры, °С	
			воздуха	теплоносителя
РТК-2216-ДП(ТС)	1	25; 32; 40; 50; 65	18...24	—
РТ-2217-ДП(ТС)	1	25; 32; 40; 50; 65		45...70
РТ-2217 ЭР	1,6	—		45...70
РТ-3513	1	20; 25; 32; 40; 50		47±2
РТ-СО	—	—	15...25	20...105
Т-48	—	—	15...25	20...105
ТМ (ТМ2, ТМ4, ТМ8, ТМ12, ТМ14)	—	—	—50... ...+150	—
РТ-2512-ДО	1	15; 20	18...24	—
Электроника Р-1М1	1,6	—	—	До 105

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

5...8%, снижения ночной температуры (в административных зданиях, школах, яслях и др.) — 8...12%, за счет оптимизации режимов отпуска теплоты — до 5%.

Среди средств автоматизации наибольшее распространение в МТП получили приборы и устройства, работающие без использования энергии от посторонних источников и имеющие высокую эксплуатационную надежность. Кроме того, применяются электронные блочные регуляторы, гидравлическая и пневматическая автоматика. Одно из главных условий проектирования и использования средств автоматизации — увеличение их работоспособности в условиях почти полного отсутствия обслуживания.

Отечественная промышленность выпускает группу приборов для атоматического управления системами теплоснабжения и теплопотребления. Основные технические данные некоторых из них приведены в табл. 17.1.

Опытные образцы и партии приборов разработаны и внедрены рядом научно-исследовательских и проектных организаций (Челябинскгражданпроект — ЧПИ, ФЭИ АН ЛатвССР, ВНИИГС, ВТИ, МНИИТЭП, БПИ, АКХ имени К. Д. Памфилова, ПО «Запорожтеплосеть» и др.).

17.3. Автоматизация отпуска теплоты в местных тепловых пунктах

Традиционный принцип управления по возмущению — по температуре наружного воздуха, когда используется регулятор теплоподачи прямой воды, можно иллюстрировать рис. 17.3, где показано соотношение температур прибора $\theta_п$, внутреннего $\theta_в$ и наружного $\theta_н$ воздуха. Поворот характеристики означает подстройку или согласование с физическими свойствами здания. Пологая зависимость характерна для массивных зданий, более крутая — для легких конструкций. Параллельный перенос

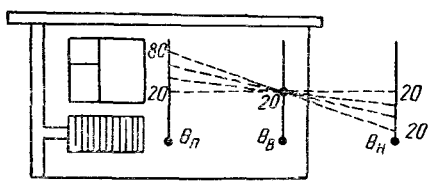


Рис. 17.3

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

характеристики осуществляется за счет дополнительных теплоизбытков или теплопотерь. В общем случае $\theta_в = f(\theta_н, \theta_р, v, I, q, \varphi, G_т, \theta_т...)$, где каждый из аргументов может быть функционально связан с другими, например $G_т, \theta_т = f(G_{г\,в}, \theta_{г\,в})$ и т. д. Здесь $\theta_р$, $\theta_т$, $\theta_{г.\,в}$—соответственно температуры радиационная, теплоносителя, горячего водоснабжения; v — скорость ветра; I — интенсивность инсоляции; q — бытовые тепловыделения; φ—влажность воздуха; $G_т$, $G_{г.\,в}$ — расходы теплоносителя. Ука-

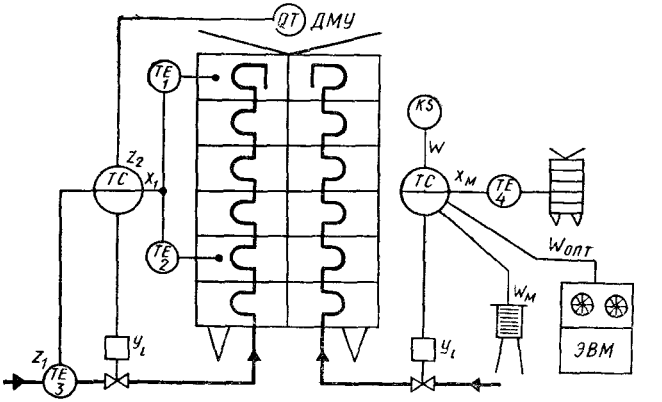


Рис. 17.4

заны только определяющие факторы; для упрощения схемы не приводятся изменения физических характеристик здания и системы отопления, нагрузка на вентиляцию и т. д.

Таким образом, для получения оптимального качества управления МТП необходимо измерить все возмущения или точно знать закон их изменения либо измерить отклонение $\theta_в$ во всех помещениях. Как видно, оба варианта относятся к разряду технически сложно осуществимых.

Научные исследования и опыт эксплуатации автоматизированных систем отопления выявили основные методы управления с соответствующим формированием исходного сигнала о поведении объекта управления, условно представленные на рис. 17.4:

$y_1 = f(x_1)$ — регулирование по отклонению температуры в представительных (базовых, контрольных) помещениях, суммарный сигнал о тепловом состоянии которых с известной погрешностью соответствует нормативной температуре $\theta_{в0}$ в любом из них;

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

$y_2 = f(z_1, z_2, \ldots, z_i)$ — управление по возмущениям, из которых выбираются наружная температура, температуры (или разность температур) теплоносителя, инсоляция, скорость ветра и его направление и другие, например $\theta_т^п$, $\theta_т^0$ с коррекцией по температуре $\theta_в$, измеренной в трех помещениях;

$y_3 = f(x_1, z_i)$ — комбинированное управление с измерением $\theta_н$ и $\Sigma\theta_в$, а также дополнительными коррекциями по $\theta_т$ и внешним воздействиям;

$y_4 = f(x_м)$ — управление с помощью физической модели здания с искусственным подогревом, в котором поддерживается некоторая температура $\theta_м$;

$y_5 = f(w)$ — управление программным отпуском теплоты — автоматическое выключение отопления на ночь, праздничные дни, периодическое отопление;

$y_6 = f(w_м)$ — управление по данным метеопунктов с помощью диспетчерской службы;

$y_7 = f(w_{опт})$ — оптимальный отпуск теплоты на основе применения многофункциональных регуляторов, с помощью ЭВМ и микропроцессоров.

Управляющие воздействия могут быть приложены к дросселирующим регулирующим органам (клапаны, задвижки, поворотные заслонки), а также к управляемым насосам и элеваторам.

Рассмотрим некоторые схемы автоматизированных МТП.

На рис. 17.5 показана схема автоматизации МТП с использованием регулируемого электронного водоструйного насоса (элеватора) «Электроника Р-1М1». Появление таких устройств вызвано необходимостью совершенствования гидравлических машин, удобных в эксплуатации, но имеющих чрезвычайно низкий КПД. Кроме того, управляющее воздействие на нагнетатель эффективнее,

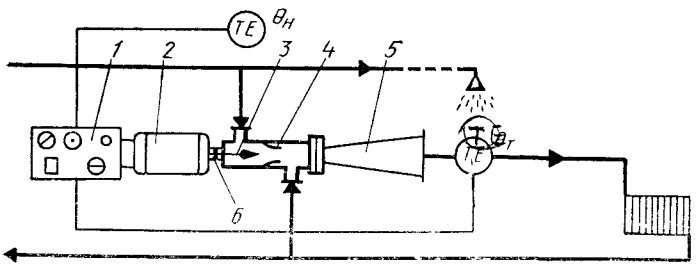


Рис. 17.5

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

чем на сеть, в особенности при дросселировании. Широко применяют регулируемые элеваторы известные фирмы «W. Bälz» и «Samson» (ФРГ).

Аппарат (см. рис. 17.5) состоит из электронного блока *1*, формирующего ПИ-алгоритм регулирования, электрического исполнительного механизма *2*, уплотнителя *6* и собственно элеватора *5*, который имеет внутри сопла *4* регулирующий клапан (иглу) *3*, механически связанный с исполнительным механизмом *2*.

Регулирование с точностью $\pm 2°$ осуществляется за счет изменения положения иглы и соответственно коэффициента смешения в зависимости от температурного графика, форма которого определяется настройкой и суммированием сигналов от датчиков температуры наружного воздуха $\theta_н$ и смешанной воды $\theta_т$. Понижение температурного графика определяется частью сигнала датчика $\theta_н$, при отклонении $\theta_т$ электронный блок перемещает регулирующую иглу.

Применение регулируемого элеватора дает возможность экономить около 10% годового расхода теплоты на отопление. Выпускаются элеваторы с диаметром сопла 6...18 мм (через 2 мм) и теплопроизводительностью 0,2...1,07 МВт при потребляемой мощности 12 Вт и массе 26...50 кг, двухсопловой элеватор ЭДР (разработан ВНИИГС и ТПИ) и ЭРСА-1 (АКХ имени К. Д. Памфилова).

Стремление приблизить управляющее воздействие к индивидуальному потребителю привело к появлению позонного отопления и, как следствие, разновидности местного — зонного управления. В этом случае главным образом учитывается влияние ориентации зданий и этажности с соответствующими импульсами по возмущению (влияние солнечного воздействия примерно в 4 раза значительнее ветрового). Большую популярность завоевало пофасадное зонное управление.

На рис. 17.6 представлена разработанная Челябинскгражданпроектом схема автоматизации МТП с электронными регуляторами РТЭ-О. Регулятор работает по принципу отклонения с одним или четырьмя датчиками ТЕ — терморезисторами ТСМ и конструктивно размещается в одном устройстве, состоящем из трех узлов — блока регулирования, исполнительного электродвигателя Д-32 и поворотно-регулирующего органа с обратной связью. Допустимая зона нечувствительности составляет

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

(20±0,2...3) °С и (60+0,5...5) °С для различных шкал задающих устройств при пропорциональном законе регулирования. Датчики устанавливаются в представительных помещениях каждого фасада, длина коммуникаций должна соответствовать сопротивлению не более 5 Ом.

Схема управления, разработанная в физико-энергетическом институте АН ЛатвССР применительно к элеваторному абонентскому вводу, реализует двухпозиционный

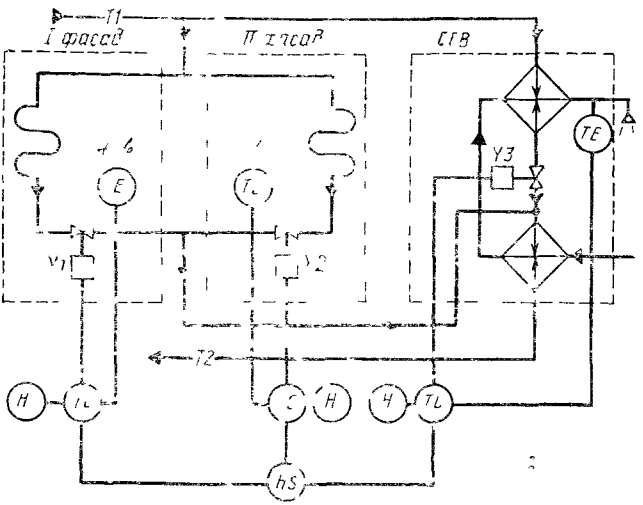


Рис 17 6

закон регулирования с соблюдением некоторого базового постоянного расхода теплоносителя. Информация поступает от ТЕ-датчиков — терморезисторов ТСМ, расположенных в контрольных помещениях (по семь на каждый фасад), — вариант ПФР-11Б, или от датчика температуры обратной воды $\theta_т^0$ совместно с датчиком метеоусловий $Q(\theta_н, w, I)$ — вариант ПФР-11А. Регулятор полупроводниковый, с измерительной мостовой схемой и соленоидным клапаном, имеет блочную конструкцию. Метеодатчик — блок терморезисторов, подвергающийся комплексному охлаждению, воздействию солнца и ветра, устанавливается при пофасадном управлении на соответствующем фасаде, а при общем теплоподводе — на северном фасаде на высоте не менее 5 м от грунта.

Упрощенная схема автоматизации показана на рис. 17.7, вариант управления выполнен пунктиром.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Электронный регулятор отпуска теплоты АРТЗ-2А, разработанный ПО «Запорожтеплосеть», рассчитан на совместную работу с насосами ЦВЦ по П-, И-, ПИ- и трехпозиционному алгоритмам с информацией о температурах наружного воздуха и смешанной воды, позволяет экономить до 10% теплоты.

Эффективны при устранении «перетопов» и создании комфортных условий схемы автоматического управления

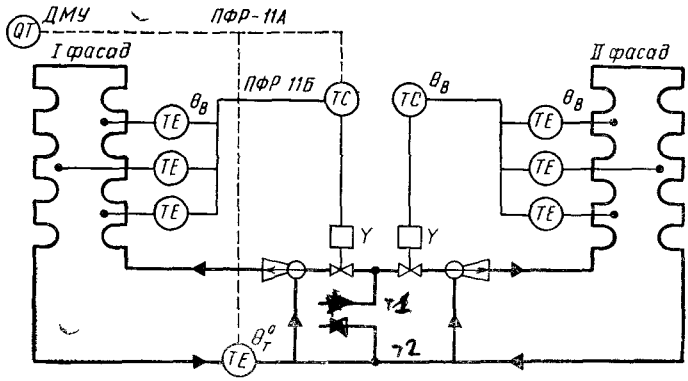


Рис. 17.7

с регуляторами РТК-2216 прямого действия, манометрического типа (заполнитель — ацетон), простые по конструкции, надежные, работающие без постороннего источника энергии, не требующие квалифицированного обслуживания.

Система, приведенная на рис. 17.8, *а*, обеспечивает комбинированный принцип управления — по отклонению $\theta_в$ с коррекцией по температуре наружного воздуха $\theta_н$. При $\theta_н$ ниже нижней точки «срезки» температурного графика (рис. 17.8, *б*) все случайные возмущения воспринимаются датчиками *5* в помещениях. Изменение объема заполнителя передается по капиллярам *6* (показан один) к сильфону исполнительного устройства *7*, изменяющего положение затвора регулирующего органа *8*. При этом сильфон *3* разделительного блока находится в крайнем верхнем положении. При $\theta_н$ выше точки «срезки» вступает в действие датчик *4* с капилляром *2*, который начинает перемещать сильфон *3* и связанный с ним гидравлически исполнительный механизм с регулирующим органом, уменьшая расход теплоносителя пропорционально

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

повышению $\theta_н$. Задающее воздействие вносится вручную поворотом маховика, сжимающего или ослабляющего сильфон задатчика *1*.

При изменении температуры теплоносителя $\theta_т$ по линии A_1B_1 $\theta_в$ (см. рис. 17.8, *б*) поддерживается по линии A_2B_2, а если по B_1D_1, то $\theta_в$ поддерживается по B_2C_2 вместо B_2D_2, (если регулировать по отклонению). В этом случае подтверждается инвариантность принципа управления по отношению к возмущающим воздействиям.

Таким образом, регулятор реагирует на изменение $\theta_н$ не во всем диапазоне ее изменения, а периодически, на-

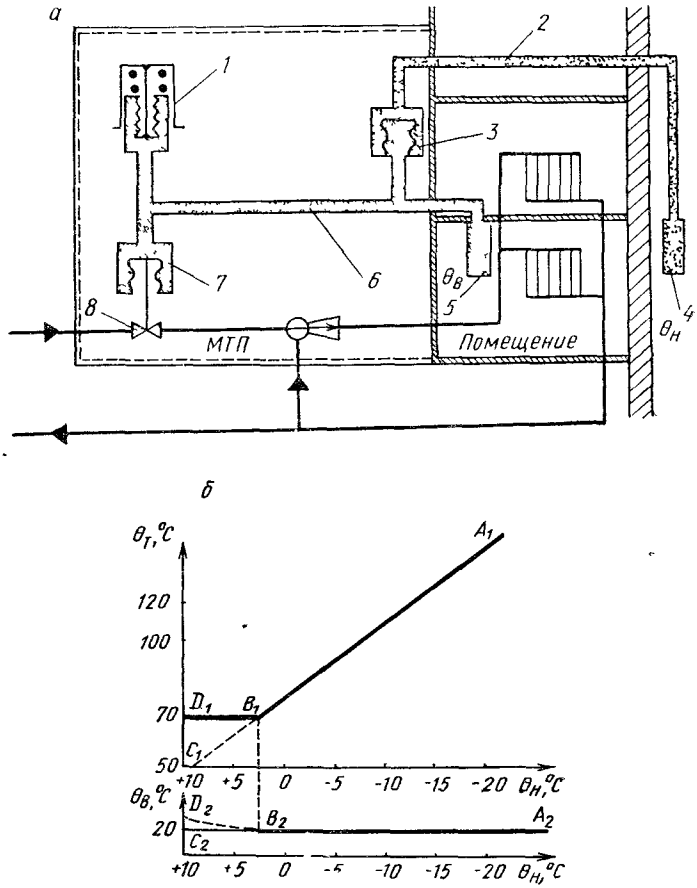


Рис. 17.8

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

чиная с точки «срезки» и выше, т. е. при $\theta_т = 60...70$ °С, что, например, для Минска соответствует периоду основных перерасходов теплоты (около 850 ч).

Терморегулятор имеет два датчика внутренней температуры воздуха, манометрические ампулы которых располагаются в контрольных помещениях (можно в санузлах или вентканалах) на первом и последнем этажах (не выше 9-го) зданий на высоте 1,5 м от пола.

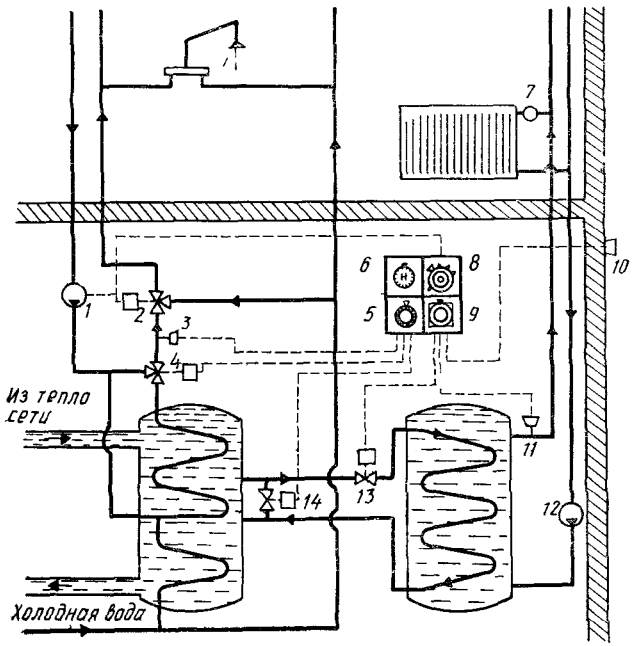


Рис. 17.9

Применение многофункционального регулятора в МТП показано на примере системы («Aquatrol 400», разработанной известной фирмой «Honeywell» (Австрия). В схеме на рис. 17.9 электронный регулятор имеет четыре блока: централизованного управления *6*, управления горячим водоснабжением *5*, отоплением *9* и программирования *8*. Блок горячего водоснабжения может быть заменен блоком управления вентиляцией. В схеме управления датчики температуры *3*, *10* и *11* — термисторы, *1* и *12* — циркуляционные насосы, *2*, *4*, *13* и *14* — регули-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

рующие клапаны с моторным приводом, 7 — автоматический термостат. Блоки регуляторов формируют ПИ-, П- и И-алгоритмы, реле времени позволяет выключать системы на ночь и в любое другое время, может обеспечивать периодическое отопление.

Многие регуляторы оборудуются оптимизаторами экономичного режима, предназначенными для включения или выключения отопления на основе информации о наружной и модулированной температуре (среднее значение на протяжении предыдущих часов). Перспективно управление подачей теплоносителя, отработавшего на северном фасаде, на южный

При проектировании автоматизированных МТП надо стремиться к сокращению числа абонентских вводов (оптимальное — 6), причем расположение ввода следует предусматривать ориентировочно в центре здания по отношению к его тепловой нагрузке.

17.4. Индивидуальное регулирование теплового режима отапливаемых помещений

Общие положения. Индивидуальное регулирование (ИР) является последней ступенью, формирующей комфортное ощущение человеком микроклимата в помещении

Известно ИР воздействием на подвод теплоты, т. е. на тепловую мощность нагревательных приборов, включая доводчики СКВ, и на отвод — проветриванием, увлажнением и т. д. Рассмотрим два основных способа ИР.

Ручное регулирование. При этом способе человек, сообразуясь с ощущением тепловой обстановки в помещении (измерив $\theta_в$ или доверившись рецепторам организма), изменяет подвод энергии, в том числе электрической (для электроотопления), к нагревательным приборам, воздействуя вручную на соответствующие регулирующие органы.

Регулирующее воздействие может быть приложено к регулирующей среде (теплоноситель, электроэнергия) и к регулируемой (объем воздуха, проходящего через прибор) через регулирующие органы дроссельного типа и релейно-контакторные элементы. К первым относят кра-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ны двойного регулирования, бессальниковые (например, конструкции АКХ имени К. Д. Памфилова), поворотные заслонки, трехходовые краны и клапаны и т. д.

Регулирующий орган желательно устанавливать в системах водяного отопления на нижней магистрали к нагревательному прибору, исключив остаточную теплоотдачу за счет обратной циркуляции при остывании воды.

Однако, несмотря на нормативные требования обязательного ручного регулирования, иногда появляется перерасход теплоты (краны открыты полностью, но полностью открыты и форточки) в силу следующих причин:

незнания потребителем закономерности между изменением температуры воздуха и перемещением затвора регулирующего органа. Действительно, два одинаковых крана на радиаторах из 6 и 10 секций должны быть прикрыты по-разному, что становится известно только после долговременных «испытаний» методом «проб и ошибок»;

субъективного ощущения комфортной температуры потребителем, которое зависит от возрастных и половых признаков, вида одежды, длительности пребывания на свежем воздухе и т. д.;

несовершенства конструкции и качества уплотнительных устройств.

Автоматическое регулирование. Индивидуальное автоматическое регулирование (ИАР) позволяет учесть возмущающие воздействия, не учитываемые при централизованном, групповом и местном управлении, и обеспечить надлежащий тепловой режим помещений, только в сторону уменьшения температуры, за счет использования свободных теплопоступлений. Очевидно, есть возможность и повышения температуры, но при наличии запаса тепловой мощности системы отопления, что трудно реализовать на практике.

При ИАР сохраняется место приложения регулирующего воздействия, как и при ручном регулировании, лишь с заменой регулирующего органа на автоматический.

Получили распространение главным образом терморегуляторы прямого действия, манометрические и непрямого — электрические (редко пневматические).

Сложилась определенная модель терморегулятора (термостата) прямого действия, который с небольшими видоизменениями выпускают многие зарубежные фирмы,

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

такие как «Danfoss» (Дания), «ТА» (Швеция), «MNG» (ФРГ) и ряд других. На рис. 17.10, *а* показан разрез термостата RTV (ТА), а на рис. 17.10, *б—г* монтаж модификаций регулятора с различным исполнением чувствительного элемента — термобаллона, заполненного термочувствительной жидкостью или массой. На разрезе показаны: чувствительный элемент *1*, задающий маховик *2*, стопорное кольцо *3*, кольцо с делениями шкалы *4*, изолятор *5*, накидная гайка *7*, сальник с кольцевым уплотнением *6*, шток и клапан *8* и *10*, корпус *9*. Принцип действия термостата — общепринятый. С увеличением температуры воздуха датчик из упругого материала деформируется

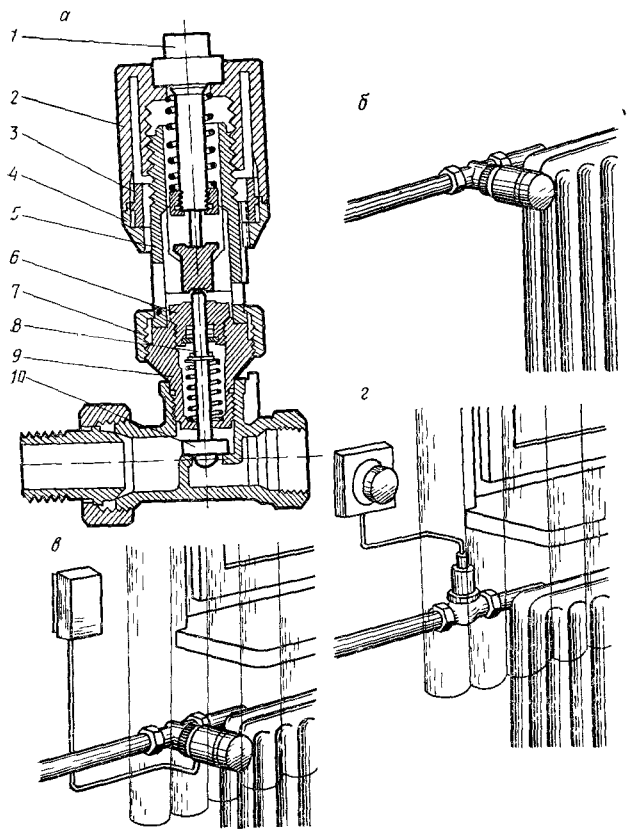


Рис. 17.10

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

и прикрывает клапан. Задающее воздействие вносится поворотом маховичка, который изменяет натяг противодействующей пружины. Датчик и задающее устройство могут устанавливаться отдельно от корпуса термостата, как показано на рис. 17.10, *в* и *г*, шкала задатчика обычно градуируется в комфортном диапазоне 15...25 °С.

Как правило, терморегуляторы управляют теплоотда-

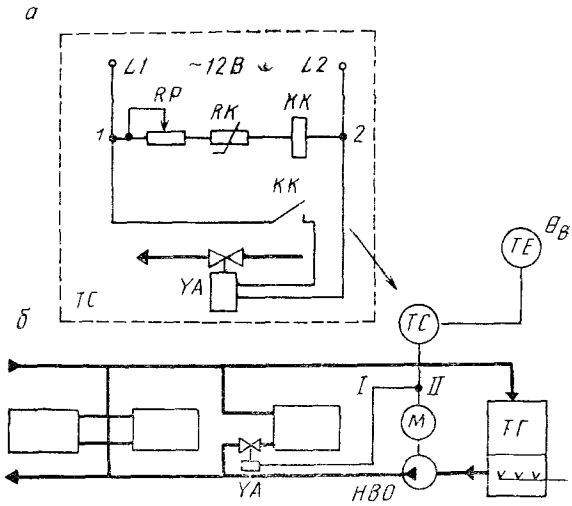


Рис. 17.11

чей отдельных радиаторов, хотя имеются схемы группового регулирования.

Настройка автоматического термостата на максимум теплоподачи намеренно или случайно приводит к перерасходу теплоты. Поэтому предусматривается фиксатор, не позволяющий без необходимости менять настройку, например в местах общего пользования, на лестничных клетках, складах, где нужно поддерживать пониженный режим отопления.

Электронные терморегуляторы также получили широкое распространение. Датчиками таких устройств служат терморезисторы, а исполнительными устройствами — соленоидные клапаны различных конструкций. В качестве усилителей используются малогабаритные транзисторные усилители с малым потреблением энергии. Один из серии терморегуляторов, разработанных в БПИ, был рассмотрен в параграфе 8.4.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Схема более простого устройства показана на рис. 17.11, *а*. Принцип его действия состоит в изменении тока в управляющей цепи *1—2*, в которую включены полупроводниковый терморезистор *RK*, задающий резистор *RP* и греющая обмотка термобиметаллического реле *KK*, контакты которого замыкают силовую цепь электромагнитного клапана *YA*. В нормальном режиме под действием силы тяжести клапан открыт, при воздействии соленоида — прекращает циркуляцию воды через нагревательный прибор (вариант *I*).

Достоинством электронных терморегуляторов является воможность точных измерений, управления несколькими регулирующими органами и включения в другие автоматические системы (контроля, блокировки, диспетчеризации и т. п.).

С помощью ИАР можно экономить до 14% теплоты (в переходный период), но необходимо реализовать повышенный тепловой потенциал обратной воды, образующийся с выключением нагревательных приборов.

ИАР, в особенности электронное, может получить преимущество в поквартирных системах водяного отопления, характерных для сельского строительства, и при электрическом отоплении. Например, автоматизированная система поквартирного отопления с бессальниковым насосом *НВО* (разработка Ростовского инженерно-строительного института) при работе теплогенератора *ТГ* на жидком, твердом или газообразном топливе на постоянном режиме путем позиционного включения — выключения насоса электронным терморегулятором *ТС* стабилизирует температурный режим в здании (вариант *II*, рис. 17.11, *б*).

Применение эффективных систем электроотопления с безынерционными приборами, теплоаккумулирующими (за счет снижения общего потребления электроэнергии в ночное время), напольными или расположенными в стенах, при использовании электропроводящих красок и пленочных обоев невозможно без индивидуального автоматического регулирования. Схема может быть аналогичной описанной выше, дополнительно предусматриваются таймер — реле времени — и автомат безопасности для защиты греющих элементов от повреждения. Известна бесконтактная АСУ электрообогревом полов в свинарниках, причем температура на поверхности пола поддерживается в пределах 5...35 °С с точностью ±1,5 °С

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

в четырех секциях, каждая из которых может иметь автономную температуру.

ИР затруднительно в помещениях с панельно-лучистыми системами отопления, во-первых, по конструктивным соображениям, а во-вторых, из-за большой инерционности замоноличенных нагревательных устройств. Поэтому в таких зданиях обычно применяется местное управление, а иногда в помещениях устанавливают малотеплоемкие регулируемые доводчики, что в целом значительно усложняет систему.

17.5. Регулирование давления в системах отопления

Для поддержания давления в обратной магистрали (защита от опорожнения системы) устанавливаются регуляторы-стабилизаторы давления прямого действия (РД).

Кроме того, на абонентских вводах для стабилизации гидравлического режима, в частности расхода теплоносителя, необходимо поддерживать постоянным перепад давлений. Это позволяет некоторым образом компенсировать неравномерность нагрузки от внешних возмущающих воздействий со стороны системы горячего водоснабжения и соседних МТП. Регуляторы прямого действия (РР), получившие наибольшее распространение, при увеличении разности давлений уменьшают проходное сечение затвора клапана.

Для насосных систем с высоким давлением и относительно малыми расходами фирмой «MNG» (ФРГ) разработана АСР «Kombi-Automatik» для регулирования перепада давлений (рис. 17.12). Верхняя мембранная камера *3* регулирующего органа *2* нагружена высоким давлением, передаваемым по импульсному трубопроводу *1*, нижняя — низким. Расчетный расход воды через клапан — примерно 1000 кг/ч при максимальном перепаде давлений 0,2 МПа.

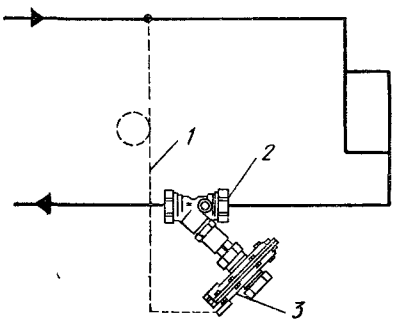


Рис. 17.12

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Глава 18. АВТОМАТИЗАЦИЯ КОТЕЛЬНЫХ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Отопительные и отопительно-производственные котельные занимают одно из ведущих мест среди потребителей топливных ресурсов, причем их доля в общем энергетическом балансе страны составляет около 50%.

В настоящее время в городах эксплуатируются более 120 тыс. котельных, и в перспективе они будут иметь немаловажное значение. Индустриализация сельского строительства также требует значительного количества котельных малой мощности.

Техническая эксплуатация котельных «малой энергетики» связана с трудоемкими процессами. Для ее совершенствования требуется автоматизация и механизация основных технологических процессов. Важнейшей задачей автоматизации и механизации является обеспечение энергетического и материального баланса установки при оптимальном КПД, минимальных потреблении топливно-энергетических ресурсов, загрязнении окружающей среды, при экономичной и безопасной работе на любых нагрузках.

История автоматизации началась именно с регулирования паровых котлов. Ее современное состояние позволяет, увеличив экономичность котлоагрегатов, повысить безопасность, надежность и точность работы оборудования, обеспечить снижение численности обслуживающего персонала, облегчение его труда.

18.1. Основные принципы автоматизации котельных

Наибольшая эффективность автоматической эксплуатации котельных предполагается при полной и комплексной автоматизации устройств основного и вспомогательного оборудования. Как известно, к первому относится сам котлоагрегат, дымососы и вентиляторы, ко второму — насосно-деаэраторная установка, химводоочистка, теплофикационная установка, станция перекачки конденсата, ГРС, склад мазута (угля) и топливоподача.

Уровень автоматизации котельных зависит от следующих основных технических факторов:

назначения котла. По виду и параметрам энергоно-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

сителя котлы делятся на паровые, водогрейные, с высокотемпературным органическим теплоносителем (ВОТ). В качестве ВОТ применяются дифенильная смесь (ДФС), дитолилметан (ДТН) и дикулилметан (ДКМ) с температурой не более 310...380 °С. Сюда входят стационарные и передвижные котлы, котлы-боилеры и котлы-утилизаторы;

конструкции котла и его оборудования (барабанный, прямоточный, чугунный секционный с наддувом, микрокотел), вида тяги и т. п.;

вида топлива (твердое, жидкое, газообразное, пылевидное, комбинированное (газомазутное)) и типа топливосжигающего устройства (ТСУ);

вида потребителя (производственный, отопительный, индивидуальный и т. п.);

числа котлов в котельной.

При составлении схемы автоматизации предусматривают основные подсистемы автоматического регулирования, технологической защиты, дистанционного управления, теплотехнического контроля, технологической блокировки и сигнализации.

Автоматическое регулирование обеспечивает нормальный режим работы котла (материальный и энергетический баланс) независимо от нагрузки. Дистанционно управляют вспомогательными механизмами, а также розжигом котла (иногда на расстоянии до 20 км и более). Технологические защиты предотвращают возникновение аварийных режимов котлоагрегата и вспомогательного оборудования. С помощью приборов теплотехнического контроля ведут непрерывное наблюдение за процессами, протекающими в котельной. Технологические блокировки обеспечивают заданную последовательность операций управления, исключая возможность неправильных операций, взаимодействуют с технологической защитой. Звуковая и световая сигнализация информирует обслуживающий персонал о состоянии оборудования, предупреждает о возникновении аварийной ситуации.

Объем автоматизации зависит от вида котлоагрегата, схемы котельной и определяется СНиП II-35—76 (§ 15).

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

18.2. Автоматизация парогенераторов

Технологический процесс получения пара в барабанном парогенераторе (паровом котле) общего назначения обеспечивается АСР питания (регулирования уровня воды в барабане), АСР горения и нагрузки (регулирования давления пара, воздуха и разрежения в топке) и АСР перегрева пара и продувки. Каждая АСР имеет свои особенности.

Уровень воды в барабане котла относится к числу главных регулируемых величин, определяющих безопасность и надежность работы самого агрегата и связанных с ним установок. Изменение уровня происходит вследствие увеличения или уменьшения расхода пара, изменения тепловой нагрузки топки и давления пара. Уровень должен поддерживаться в пределах допустимого, выход за эти пределы (перепитка и упуск воды) приводит к забросу воды в экономайзер, пароперегреватель и другие части котла или к обнажению и пережогу экранных трубок — к выходу котла из строя.

При плавных нагрузках, почти статических режимах задачу регулирования успешно решала «автоматика по Ползунову» — поплавковый датчик изменял подачу питательной воды перемещением клапана или воздействием на питательный насос. С увеличением мощности котлов, появлением большого числа потребителей с переменными, резко изменяющимися нагрузками обнаружилась одна особенность эксплуатации барабанных котлов, заставившая изменить принцип регулирования.

При резком отборе пара, т. е. при $D \gg D_0$, падает давление в барабане $p \ll p_0$, что приводит при той же тепловой нагрузке к вскипанию пароводяной смеси, явлению «набухания». Это вызывает подъем уровня $H > H_0$, на что поплавковый регулятор реагирует уменьшением притока воды $G_{\text{п в}} < G_0$, причем в момент большого потребления пара, когда необходимо подпитывать котел. Происходит реверс обратной связи: вместо отрицательной образуется положительная, и «набухание» становится тем больше, чем сильнее экранирован котел и меньше давление пара. К тому же объект не обладает самовыравниванием и имеет емкостное запаздывание. Динамическая характеристика с кривыми: астатической $H_1(t)$ — от разности расходов пара и воды, статической $H_2(t)$ — от «набухания» и результирующей $H(t)$ пред-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ставлена на рис. 18.1, *а*. На рис. 18.1, *б* показан трехимпульсный (есть и двухимпульсный) регулятор питания *LC* с сигналом по уровню и дополнительными — расходу пара и поступлению (давлению) питательной воды в котел. Регуляторы этого типа широко распространены в автоматике современных котлов благодаря стабильному поддержанию уровня.

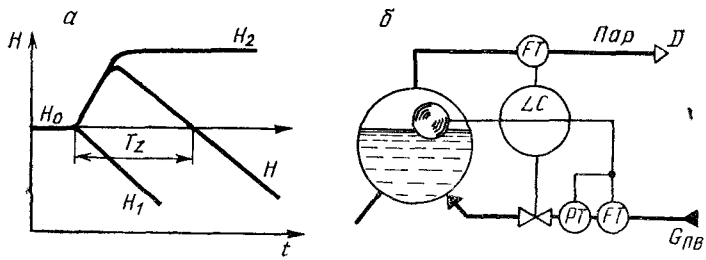


Рис. 18 1

Регулирование горения ведется так, чтобы сохранялся баланс между подводом теплоты в топку и отводом ее с паром при постоянном давлении, т. е.

$$\Delta p = K(BQ_{\text{р}}^{\text{н}}\eta_{\text{к}} - D(i - i_{\text{п в}})),$$

где Δp — изменение давления; K — коэффициент передачи; B — расход топлива; $Q_{\text{р}}^{\text{н}}$ — теплота сгорания топлива; $\eta_{\text{к}}$ — КПД котла; i, $i_{\text{п.в}}$ — удельные энтальпии пара и питательной воды.

Таким образом, импульс по давлению пара определяет теплопроизводительность котла и используется для изменения подачи топлива.

Вместе с топливом должен быть подан необходимый для горения воздух, соотношение между ними показывает коэффициент избытка воздуха.

Соотношение «топливо—воздух» можно регулировать по двум схемам: изменять расход топлива, соответственно меняя расход воздуха, и наоборот. Опыт подтверждает бóльшую экономичность второго способа. При сжигании газа в инжекционных горелках используется первая схема. Существует и схема «пар—воздух», при которой на регулятор воздуха подается импульс по расходу пара. Ее применяют для котлов, работающих с постоянной нагрузкой, и при частой смене топлива, на-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

пример в газомазутных котлах. По такой схеме может использоваться корректирующий импульс по расходу топлива, что повышает эффективность процесса его сгорания.

Материальный баланс «топливо + воздух = дымовой газ» обеспечивается соответствующим разрежением в топке, которое регулируется изменением направляющим аппаратом подачи дымососов или их частотой вращения (см. гл. 15).

Таким образом, в автоматику горения включают три основных регулятора: топлива (нагрузки), воздуха (соотношения) и тяги. Иногда в роли регулятора нагрузки выступает регулятор воздуха.

При параллельной работе блока котлов на общую магистраль заданное давление в ней поддерживает главный, или ведущий, регулятор, который управляет нагрузкой всех котлов.

Автоматическое регулирование перегрева пара производится из условий надежности совместной работы котла и турбины одним из трех способов — паровым, газовым и парогазовым. Чаще используется паровой способ, когда в поверхностном переохладителе пар охлаждается питательной водой. Газовый способ основан на изменении теплоотдачи пароперегревателя перепуском дымовых газов, минуя его, парогазовый — на комбинации указанных способов.

Развернутая схема автоматизации парогенератора с большим количеством коммуникаций и линий связи достаточно сложна, поэтому на рис. 18.2 приведена упрощенная схема автоматизации газомазутного котла с нанесением блоков регулирования основными процессами.

Ведущий регулятор *VII* по импульсу $p_к$ давления пара в общекотельном коллекторе передает команду регулятору тепловой мощности *III*, изменяющему подачу топлива. Одновременно регулятор топлива получает информацию о расходе пара от датчика *FT(1)* и от дифференциатора *PC* — сведения о давлении в самом котле, которое может быть отличным от $p_к$.

Регулятор воздуха *IV* получает сигнал от ведущего регулятора вместе с сигналами *FT(3)* по расходу воздуха *Вз*, топлива *Т* и по содержанию кислорода O_2 в дымовых газах. При изменении режима регулятор приводит в действие направляющий аппарат дутьевого вентилятора *ДВ*. Регулятор питания *VI* изменяет подачу

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

питательной воды в зависимости от ее расхода $G_{п.в}$, расхода пара D и уровня в барабане H.

Регулятор тяги V увеличивает подачу дымососа $ДС$ воздействием на его направляющий аппарат при изменении разрежения $(-p)$ и синхронизирующего импульса от регулятора воздуха. Регулятор перегрева пара $VIII$ изменяет температуру пара $\theta_{п.п}$ впрыском пита-

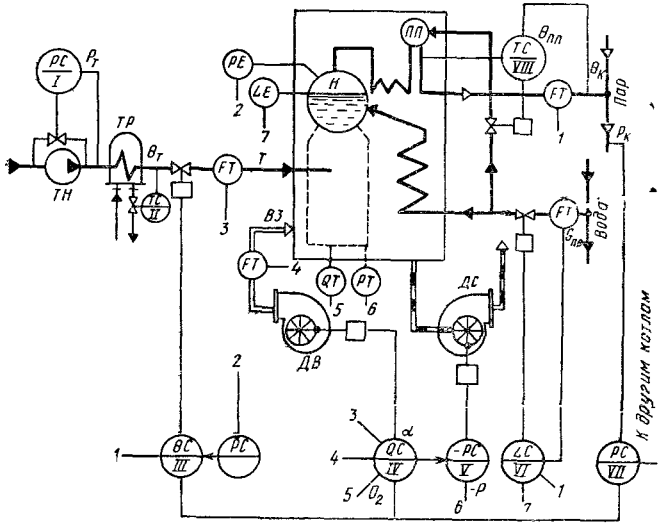


Рис. 18.2

тельной воды в пароперегреватель $ПП$ по суммарному сигналу о температурах пара $\theta_{п.п}$ и $\theta_к$.

Регуляторы давления топлива I и его температуры II управляют байпасным клапаном топливного насоса $ТН$ и подачей теплоносителя в топливоподогреватель $ТП$, обеспечивая параметры $p_т$ и $\theta_т$, необходимые для нормальной работы топливосжигающих устройств.

Для котлов, работающих на твердом топливе, регулятор подачи топлива действует на плунжер пневмозабрасывателя (топки $ПМЗ—ЛЦР$, $ПМЗ—РПК$ и др.), кроме топок с цепными решетками типа $ЧЦР$, не позволяющими плавно изменять подачу.

Автоматическое регулирование прямоточных котлов практически не отличается от барабанных. Исключением является отсутствие регулятора уровня в барабане. Однако предусматриваются обязательная синхронизация

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

между подачей топлива и питательной воды и регулятор температуры пара. Ввиду высокой напряженности тепловых и гидроаэродинамических процессов большое внимание уделяется технологическим защитам, сигнализации и блокировке.

18.3. Технологические защиты котлов

В аварийных ситуациях устройства технологической защиты должны либо остановить котел, либо перевести его на режим пониженной нагрузки или осуществить некоторые локальные операции. Затем выявляется и ликвидируется причина нарушения, повторный пуск в действие осуществляется дежурным персоналом.

Останов котла необходимо производить в следующих случаях: снижения температуры пара, падения давления топлива, погасания факела в топке, перепитки котла выше 2-го предела, упуска воды, останова обоих дымососов или вентиляторов. Управляющее воздействие — останов дутьевых вентиляторов и прекращение подачи топлива, дымососы работают для вентиляции газоходов.

Переводить котел на долевой режим (около 50% нагрузки) необходимо при повышении давления и температуры пара, останове одного дымососа или вентилятора. Управляющее воздействие — отключение половины ТСУ и блокировка регулятора топлива в сторону увеличения подачи. Локальными операциями могут быть: включение средств пожаротушения при загорании сажи, открытие рабочих и контрольных предохранительных клапанов при повышении давления пара на выходе и в барабане и ряд других воздействий.

При остановке регенеративных воздухоподогревателей котел останавливают или переводят на долевой режим. Останов прямоточных котлов производится также автоматической защитой при прекращении подачи питательной воды. Особое внимание уделяется предельному регулированию давления.

18.4. Автоматизация водогрейных котлов

Специфика автоматизации водогрейных котлов вытекает из принципа их действия, назначения и конструктивного оформления. Отопительные котлы характеризуются двумя основными режимами работы — базовым, с

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

постоянной температурой теплоносителя, и регулировочным, когда температура воды программируется в соответствии с отопительным графиком. Таким образом, главным параметром является температура воды за котлом. Другой важной особенностью таких котлов является отсутствие автоматики питания, так как в замкнутом циркуляционном контуре вода не меняет своего агрегатного состояния.

Некоторые котлы, такие как ПТВМ 50 и 100, работают на естественной тяге, и их конструктивные особенности не позволяют использовать регуляторы разрежения.

В газомазутных котлах для регулирования теплопроизводительности наряду с обычным плавным изменением расхода топлива используется позиционный ступенчатый принцип поочередного отключения и включения определенного числа горелок. С одной стороны, увеличивается устойчивость горения, так как горелка работает на оптимальном режиме, но с другой, изменение числа горелок отражается на давлении топлива перед ними, что требует установки регулятора давления топлива. Позиционный принцип лучше использовать при малых нагрузках.

Рассмотрим АСР водогрейного котлоагрегата КВ-ГМ-10 (рис. 18.3). Регулятор температуры *1* получает сигналы от датчиков *2* и *3*, размещенных в подающем и обратном трубопроводах сетевой воды, и воздействует на исполнительный механизм *У1* регулирующего органа на газо- или мазутопроводе, регулируя интенсивность процесса горения. Одновременно регулятор *4* (мембранный дифманометр) измеряет расход газа с помощью камерной диафрагмы *5* и воздействует сервомотором *У2* на направляющий аппарат дутьевого вентилятора *ДВ*, изменяя и расход воздуха до необходимого для горения топлива с заданным коэффициентом избытка воздуха. Регулятор разрежения *6* получает сигнал от датчика *7*, расположенного в топке котла, и изменяет подачу дымососа *ДС* с помощью исполнительного механизма *У3* на направляющем аппарате таким образом, чтобы разрежение в топке поддерживалось в заданных пределах.

Опыт эксплуатации автоматизированных водогрейных отопительных котлов показывает, что оптимальное теплоснабжение не обеспечивается, так как при этом не

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

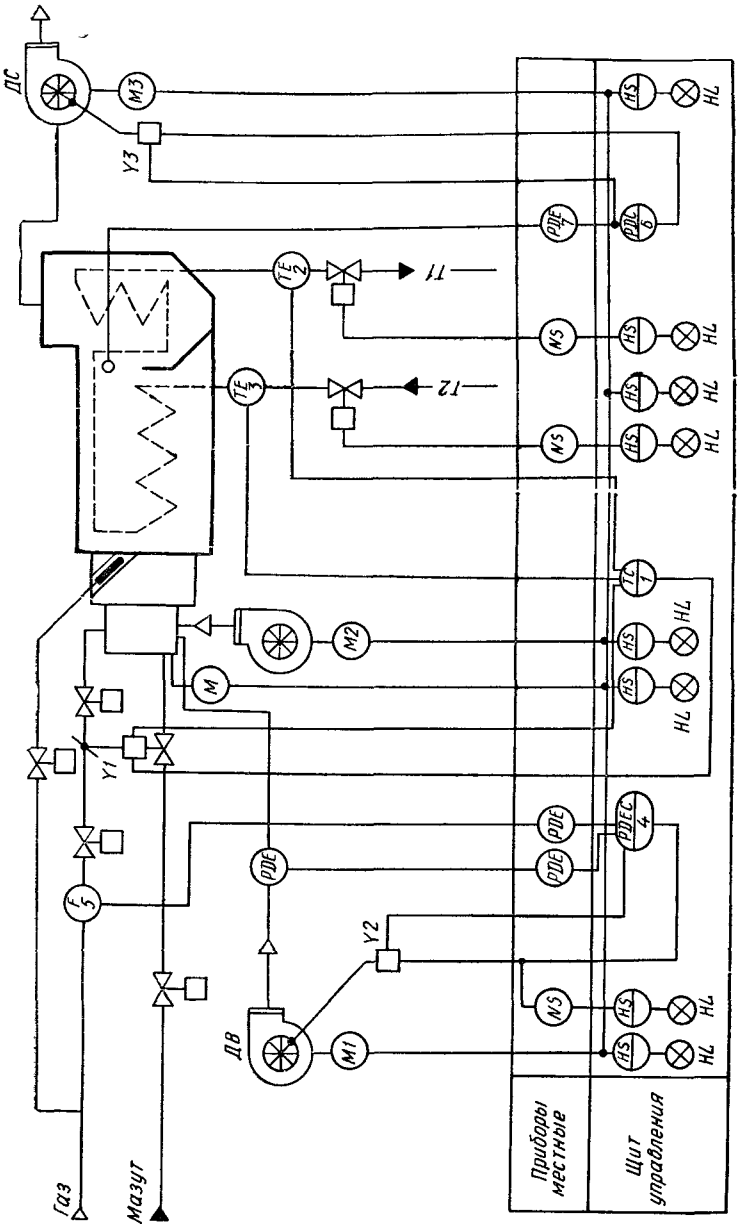


Рис. 183

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

учитываются нагрузки горячего водоснабжения. Поэтому приходится ручным управлением, например изменением числа горелок (иногда до 6 раз в сутки), менять тепловой режим котла. Положительного результата можно добиться, используя диспетчеризацию, а также программное регулирование, при котором с регуляторами нагрузки на каждом котле работает автоматический задатчик, корректирующий температуру сетевой воды в соответствии с диспетчерским графиком.

Среди средств автоматизации котельных агрегатов средней и малой мощности наибольшее применение получила электронно-гидравлическая АСР «Кристалл», основные регуляторы которой позволяют формировать П-, И- и ПИ-законы регулирования с использованием гидравлических, пневматических и электрических сервомоторов.

Электронные регулирующие приборы серии РПИК и РПИБ с корректирующими приборами КПИ формируют П-, ПИ- и ПИД-алгоритмы и находят применение не только в котельной автоматике, но и при регулировании в других элементах систем теплоснабжения и теплопотребления. На основе этих блоков разработаны также экстремальные регуляторы СЭР, ЭРА-1, оптимизирующие режим работы котла по критерию $\eta'=\Delta\theta/G_г$ (разность температур прямой и обратной воды и расход газа) при помощи шагового непрерывного поиска.

АСР «Ритм» универсальна, имеет возможность введения логических операций, релейный и аналоговый выход, большую точность, в ней используются тиристорные усилители. Разрабатываются АСР на пневмонике с использованием элементов УСЭППА.

18.5. Автоматизация котлов на газовом топливе

Значительную долю среди отопительных котельных составляют котельные, в которых используется газовое топливо. При их эксплуатации особенно строго должны соблюдаться правила техники безопасности. Автоматизация газифицированных котельных «на замке» при ежегодном вводе в строй свыше 3500 котлов типа ДКВР представляет серьезную проблему.

Для автоматизации примсняются пневматические, электрические, но чаще комбинированные электропнев-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

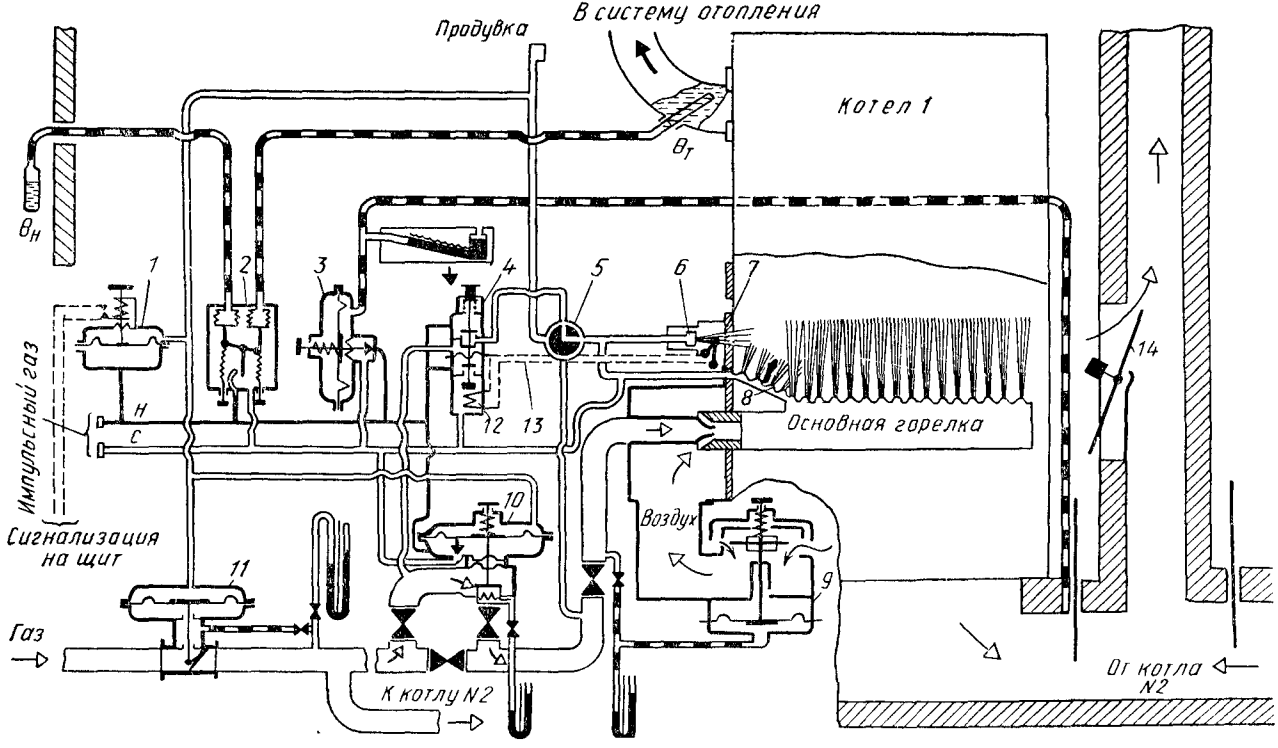
матические АСР с использованием в качестве энергоносителя газового топлива.

Наиболее важную часть автоматического оборудования котлов на газовом топливе составляет технологическая защита, или автоматика безопасности. В ее обязательные функции входит немедленное прекращение подачи газа к горелкам (отсечка газа) в следующих предаварийных случаях: погасания факела в топке, повышения температуры теплоносителя свыше 95 °С или нарушения циркуляции в системе отопления, падения разрежения в топке до 30...50 Па, аварийного повышения или понижения давления газа, загазованности помещений котельной.

Отечественная промышленность располагает достаточно большой номенклатурой устройств автоматизации котельных. Наиболее характерной является пневматическая АГК-2У, на примере которой можно получить представление о средствах и работе автоматики газифицированной котельной (рис. 18.4).

Перед включением котла необходимо поставить четырехходовой кран рода работы *5* в положение «продувка», открыть задвижки на трубопроводах воды, включить циркуляционный насос и проверить разрежение в топке. Затем перевести кран *5* в положение «автоматический пуск» и открыть кран перед главным клапаном — регулятором расхода газа *10,* внести горящий факел в окно запальной горелки *6,* нажав при этом кнопку электромагнитного трехседельного клапана *4.* Выждав 60...90 с, пока ток хромель-копелевой термопары *7* (*13* — проводка) приведет в действие электромагнит *12,* кнопку можно отпустить, так как электромагнит будет удерживать якорь штока клапана и газ свободно пойдет в запальную горелку. Термопара является элементом защитной автоматики — при погасании факела охлаждается и не удерживает клапан. Верхняя полость клапана-отсекателя *10* сообщается со сбросным трубопроводом, и его затвор отсекает подачу газа. В других котлах может использоваться автоматический розжиг при помощи автомобильной свечи зажигания, искра в которой образуется от индукционной катушки, включаемой нажатием кнопки, контроль за факелом может осуществляться фотоэлементами и по температуре уходящих газов. В последнее время в котлах стали применять датчики электрической проводимости пламени, связан-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/



Электронная библиотека http://lgv.khstu.ru/

ной с его ионизацией, так как бесцветность горения затрудняет использование фотодатчиков.

После зажигания газа из трубки бегущего огня *8* медленно открывают кран перед основной горелкой и переводят кран *5* в положение «работа». Отключение котла производят кранами перед регулятором, горелкой и краном *5* (положение «выключен»).

В процессе работы регулятор-стабилизатор прямого действия *11* поддерживает давление газа в пределах 8...10 МПа независимо от колебаний давления в подводящей сети.

Автоматика безопасности действует на основе параллельного соединения пневматических регуляторов с усилителями типа сопло—заслонка и одним сервомотором—клапаном-отсекателем *10*. Это означает, что любой регулятор по сигналу об изменении соответствующего параметра (штрихпунктирная линия) сообщает напорную импульсную магистраль *Н* (показана жирной линией) со сбросной *С* (двойная линия), приводя тем самым к отсечке газа (давление страгивания затвора клапана — 240...250 Па).

При работе котла главный клапан плавно изменяет подачу газа по сигналу от регулятора соотношения температур *2* с манометрическими датчиками температуры наружного воздуха $\theta_н$ и теплоносителя $\theta_т$, соединенными с сильфонами, имеющими на суммирующем рычаге заслонку, поворот которой приводит к упомянутому эффекту. В регуляторе есть задающие натяжные устройства, обеспечивающие настройку $\theta_т$ в пределах 45...95 °С при $\theta_н = +10...-20$ °С с нечувствительностью ± 1 °С.

Проф. С. А. Чистович рекомендует запаздывание из-за инерционности объектов-зданий компенсировать введением дополнительных к датчику $\theta_н$ датчиков «быстрых» и «медленных» теплопотерь.

При падении разрежения в топке ниже 8 Па реле разрежения *3* также закрывает клапан-отсекатель. Сигнализатор *1* информирует о падении давления в напорной магистрали (отключении котла) зажиганием табло, а иногда звуковым сигналом.

Для обеспечения требуемого соотношения «газ—воздух» используется статический регулятор расхода воздуха *9* — пропорционирующий клапан, который выпускается в модификациях для инжекционных и подовых горелок и действует по импульсу давления газа.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Поворотный статический регулятор тяги *14* с регулируемым противовесом (неравномерность ±2 Па) обеспечивает стабилизацию тяги в борове за котлом.

18.6. Автоматизация топливосжигающих устройств микрокотлов

Микрокотлы — производственные котлы малой тепловой мощности и топливосжигающие устройства (ТСУ) различных установок в индивидуальных домах, например, сельского строительства, в квартирных теплогенераторах, водонагревателях, работающих на газе, легком, жидком и, реже, твердом топливе. Котлы такого типа должны быть полностью автоматизированы, отвечать повышенным требованиям безопасности, надежности и отличаться простотой обслуживания.

Схема АСР обычно содержит два самостоятельных контура регулирования — АСР ТСУ и АСР системы отопления или другой системы теплопотребления (например, для кормозапарки, мойки и т. п.).

Автоматика ТСУ, как правило, стабилизирующая, имеет рабочий терморегулятор, поддерживающий заданную температуру горячей воды изменением расхода топлива и воздуха. АСР ТСУ, работающих на жидком и газообразном топливе, обеспечивают наиболее простой двух- или трехпозиционный режим воздействием на электромагнитные топливные клапаны. Иногда общий топливопровод расчленяют на участки со ступенчатым позиционным регулированием, но с большей равномерностью подачи топлива, хотя, как известно, более на-

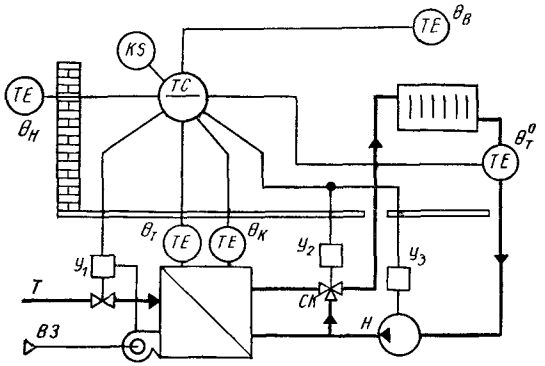


Рис. 18.5

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

дежная работа имеет место при непрерывном регулировании. Помимо терморегулятора, ТСУ оборудуется технологической защитой от перегрева воды (регулятор вскипания), а также программным устройством для периодической работы.

Во втором контуре АСР используются известные принципы регулирования отопительных систем с функционально различными регуляторами. Применяются также программные устройства с суточной, недельной программами, с коррекцией по наружной температуре, по температуре в помещениях, обратной воды и т. п.

В качестве средств автоматизации для ТСУ предпочтение отдают регуляторам прямого действия в сочетании с электронной автоматикой.

На схеме (рис. 18.5) представлен вариант автоматизации небольшого водогрейного котла на печном бытовом топливе (ТПБ). Показан общий терморегулятор *ТС*, формирующий управляющие воздействия $y_1 ... y_3$ на подачу топлива *Т* и воздуха *Вз*, на смесительный клапан *СК* или регулируемый циркуляционный насос *Н*. Исходными являются сигналы о температурах воздуха наружного $\theta_н$ и внутреннего $\theta_в$, обратного теплоносителя $\theta^{о}_{т}$, температуры теплоносителя за котлом $\theta_т$, вскипания воды $\theta_к$. Управление может осуществляться также по заданной программе.

Унифицированные средства автоматизации «Пламя» для котлов мощностью до 1 МВт регулируют их тепловую нагрузку по отопительному графику с выдачей информации на центральный диспетчерский пункт.

18.7. Автоматизация систем водоподготовки

Накопленный опыт по проектированию и эксплуатации автоматизированных водоочисток позволяет выделить основные направления автоматизации: регулирование производительности водоподготовительных установок и автоматизация работы осветлителей; автоматизация процессов восстановления фильтров; автоматизация деаэраторов; разработка и внедрение автоматических приборов химического контроля.

Схема регулирования производительности установок зависит от технологической схемы водоподготовки и определяется добавкой воды в теплосеть и котлы. Принцип построения схемы регулирования можно рассмот-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

реть на примере натрий-катионирования и обессоливания воды в установке, представленной на рис. 18.6.

Вода через осветлители *1* поступает в бак *2* и насосами *3* через механические *4* и натрий-катионитные фильтры *5* частично подается в деаэратор *6*, а частично идет на обессоливание. Есть две ступени: первая — водород-катионитные *7* и анионитные *8* фильтры, вторая—

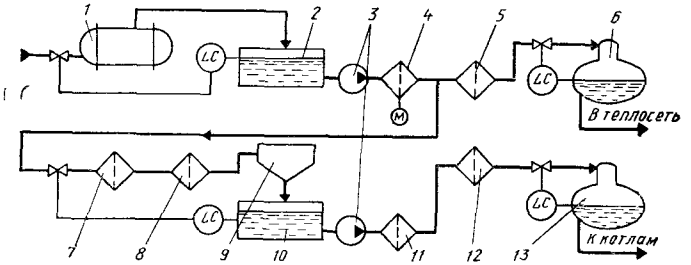


Рис. 18.6

аналогичные фильтры *11, 12*. После первой ступени вода проходит декарбонизатор *9* и из бака *10* подается в деаэратор *13*. Как видно из схемы, нагрузка систем химводоочистки поддерживается регуляторами уровня *LC* в деаэраторах и баках. При ее частых колебаниях и отборе воды на нужды самой установки предусматриваются двухимпульсные регуляторы (по уровню и расходу воды).

Автоматизация дозирования реагентов наилучшим образом реализуется при помощи объемных насосов-дозаторов с регулируемой производительностью (байпасированием, изменением хода плунжера и скорости вращения электродвигателей). В некоторых установках наряду с насосами-дозаторами применяют дозаторы с электромагнитными клапанами.

Автоматизация фильтров — аппаратов периодического действия — заключается в автоматическом их отключении на промывку и регенерацию и выполнении этих операций по заданной программе с последующим включением фильтров в работу. Отключаются фильтры при получении сигналов о помутнении воды, перепаде давлений на фильтре, изменении расхода отработанной воды и окончании срока работы фильтра.

Автоматическое приготовление регенерационных растворов осуществляется с помощью регулятора кон-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

центрации, воздействующего на подачу концентрированного раствора, или регулятора, смешивающего в определенных пропорциях концентрат с водой.

В последнее время для водоподготовки используется метод магнитной обработки воды, который препятствует образованию накипи на рабочих поверхностях водонагревательного оборудования. Установки с постоянными магнитами и электромагнитами успешно применяются в водогрейных котельных, а в ряде городов и для систем горячего водоснабжения.

В таком важном элементе тепловой схемы, как атмосферные или вакуумные деаэраторы термического типа, удаление воздуха достигается подогревом воды до температуры кипения за счет пропускания пара или перегретой воды.

Регулирование главного параметра — уровня — осуществляется дросселированием на напорной линии насосов или рециркуляцией. В обоих случаях датчиком является поплавковое или дифференциальное мембранное устройство, а регуляторы-стабилизаторы должны иметь жесткую обратную связь, так как объект саморегулированием не обладает.

Температура воды или давление в деаэраторе поддерживаются манометрическими регуляторами прямого действия, изменяющими расход теплоносителя по импульсу о температуре или заданном разрежении. При использовании греющего пара давление в деаэраторе поддерживается дифференциальным регулятором, который обеспечивает заданную разность давлений среды в магистрали и деаэраторе. Чувствительными элементами являются сильфонные датчики с гидроусилителями.

При определении объема автоматизации конкретной водоподготовительной установки следует учитывать экономическую целесообразность отдельных процессов, уделяя особое внимание полной механизации трудоемких работ.

18.8. Автоматизация топливоподготовительных устройств

Топливное хозяйство обеспечивает бесперебойное снабжение котельной топливом и объединяет механизмы и устройства для его транспортирования и хранения. В зависимости от вида топлива, теплопроизводительно-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

сти и расположения котельной оно имеет свои особенности.

Действующие нормативы предусматривают механизированную подачу топлива к топкам, главным образом для котлов, работающих на твердом и пылевидном топливе. Кроме того, механизируется транспортирование топлива, которое осуществляется ленточными и скребковыми транспортерами, тельферами, ковшовыми элеваторами, скиповыми подъемниками и т. д.

При слоевом сжигании твердого топлива уровень автоматизации зависит от конструкции топки. Осуществляется оно в топках с неподвижным слоем топлива (с забрасывателями) периодическим (с шурующей планкой или рамкой) или непрерывным (например, с помощью механических цепных решеток) перемещением топлива. Пылевидное топливо сжигается в топках камерного или факельного (верхового) типа.

Работа питателей и движителей топлива осуществляется от электродвигателей или гидромоторов. При необходимости дробления топливо может направляться на молотковые, валковые и винтовые дробилки-грохоты.

Большое значение при механизации подачи имеет правильный выбор топливоподающих механизмов — транспортеров различного типа, который зависит от необходимого расхода топлива.

Схема централизованной механизированной подачи топлива обычно выглядит следующим образом. Центральный бункер соединяется с приемными патрубками винтового конвейера магистралями, на которых устанавливаются автоматические шиберные затворы. С каждым бункером конвейер соединен разгрузочными патрубками с полностью открытыми при работе котла шиберами, которые при остановке одного из котлов перекрываются, и топливо направляется к следующему.

Как следует из технологии топливоподготовки, основными подсистемами автоматизации следует считать дистанционное управление приводами механизмов и автоматическую межобъектную блокировку (например, при останове второго из двух последовательно работающих транспортеров первый немедленно отключается), а также предупредительную и аварийную сигнализацию.

Существуют также системы автоматизированного золо- и шлакоудаления с механическими и пневмогидравлическими средствами транспортирования.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Глава 19. АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ

Принципы автоматизации вентиляционных систем (ВС) зависят прежде всего от энергетических затрат на обеспечение санитарно-гигиенических требований и теплового режима помещений. Существуют ВС без подогрева воздуха и с подогревом, причем эта классификация связана с назначением ВС и вентилируемого помещения. На принципы автоматизации ВС влияют также нормативные требования и параметры внешней и внутренней среды, производственная технология и ее режимы, вид теплоносителя, конструктивные особенности элементов ВС. Главными задачами автоматизации ВС являются обеспечение в помещениях и заданных точках системы требуемои температуры, подвижности, чистоты воздушной среды и необходимого воздухообмена при экономном расходовании тепловой и электрической энергии. На привод вентиляторов и насосов общепромышленного назначения расходуется около 15% электроэнергетических ресурсов страны, и это ставит дополнительные задачи перед автоматизацией ВС.

19.1. Автоматизация вытяжных вентиляционных систем

Для простейших вытяжных вентиляционных систем (ВВС), число которых в современных зданиях и сооружениях достаточно велико, основной подсистемой автоматизации является дистанционное управление приводом вентилятора. При наличии поворотных заслонок или «утепленного» клапана в системе по необходимости обеспечивается блокировка: радиальный вентилятор пускают с закрытой сетью, осевой — с открытой. Современные электродвигатели мало чувствительны к пусковым токам, поэтому в ряде принципиальных схем автоматизации такая блокировка отсутствует. В зависимости от того, является ВВС частью схемы технологического процесса или обслуживает его, последовательность включения ВВС и оборудования может быть различной. ВВС можно пускать раньше, одновременно или после пуска оборудования и с определенной выдержкой времени, например на предварительное или послеоперационное проветривание и т. д. В схеме вентиляции по усло-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

виям технологии может быть предусмотрен резервный вентилятор, который должен быть сблокирован с основным. Для сохранения воздушного баланса в ряде случаев требуется синхронная работа вытяжных и приточных систем, хотя технически сложной задачей является, например, автоматизация нескольких вытяжных систем, работающих совместно с одной приточной.

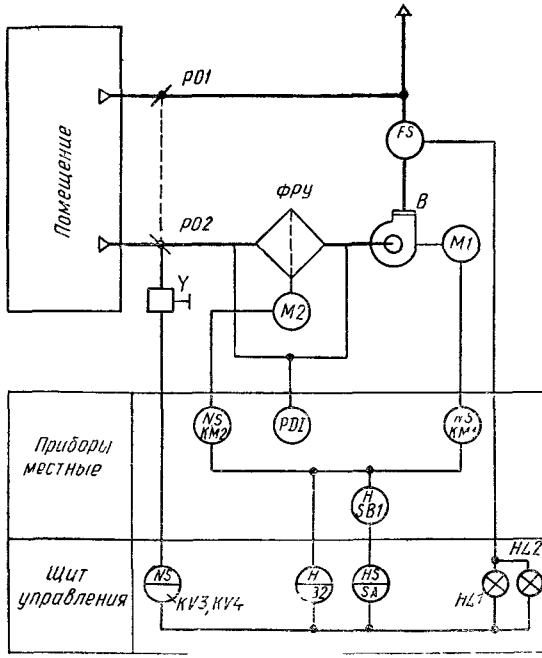


Рис. 19 1

Важную категорию представляют аварийные ВВС, которые должны автоматически включаться при внезапном поступлении в воздух вредных или взрывоопасных веществ. В помещениях устанавливают автоматические датчики-газоанализаторы ПДК, обеспечивающие автоматический пуск установки. Кроме того, аварийная ВВС должна автоматически включаться при остановке любой из систем. Если предусмотрен резервный вентилятор, его блокируют с основным. При наличии в выбросных устройствах аварийной вентиляции (дефлекторы, шахты и т. д) клапанов последние должны быть с автоматическим приводом, сблокированным с аварийными основ-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ным и резервным вентиляторами. Схема управления и блокировки с резервным вентилятором показана на рис. 15 5. При автоматическом пуске датчик—реле ПДК выполняет роль кнопочной станции в цепи управления.

ВВС могут быть оборудованы различными фильтрами, в том числе с механическим приводом узлов и подачей воды (мокрые пылеуловители). Необходимо предусматривать блокировку пуска и останова вентилятора с подачей и отключением воды, а также защиту при отсутствии или внезапном прекращении подачи воды. Работоспособность фильтра оценивают с помощью дифманометра по перепаду давлений до и после фильтра (обычно для систем с расходом воздуха более 4 м³/с).

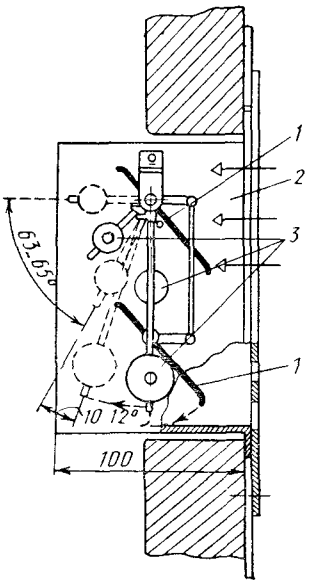


Рис. 19 2

По требованиям технологии и для экономии электроэнергии используются комбинированные ВВС, у которых механическая вытяжка совмещена с естественной. На рис. 19.1 показана схема такой ВВС, на которой дополнительно установлен самоочищающийся фильтр *ФРУ*. Его электропривод блокируется с пуском вентилятора *В*. Поворотные заслонки *РО1* и *РО2* установлены так, что при аварийной остановке или по окончании работы автоматически сервомотором *У* открывается заслонка *РО1,* обеспечивающая естественную вытяжку, а заслонка *РО2* закрывается. Схемой предусмотрено местное и дистанционное управление, выбор которого осуществляется переключателем *HS,* а также контроль за работой установки при помощи реле потока воздуха *FS,* размещенного в воздуховоде. Необходимость такого контроля диктуется взможностью работы вентилятора при закрытой заслонке *РО2,* когда сигнализация о нормальной его работе не будет соответствовать нормальной работе системы.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Для стабилизации вытяжки в помещениях жилых и общественных зданий при естественной и принудительной вентиляции применяются автоматические стабилизаторы расхода воздуха. Принцип действия такого регулятора (рис. 19.2) основан на уравновешивании грузами вращающего момента от действия динамического давления потока воздуха на поворотные заслонки *1*, установленные в устьях *2* вентиляционных каналов в кухнях и санузлах. Особенностью конструкции Челябинскгражданпроекта является наличие нескольких последовательно противодействующих грузов *3*, сочетание которых позволяет регулировать расходы в диапазонах 50...60, 70...80, 90...100, 120...130 м³/ч. К ТСА вытяжных систем можно отнести самозакрывающиеся и самооткрывающиеся противопожарные клапаны.

При необходимости утилизации теплоты выбрасываемого воздуха в состав ВВС могут входить устройства вторичного использования теплоты, например регенеративные теплообменники с вращающимся ротором, получающие все большее применение в системах вентиляции и СКВ. Температура подаваемого воздуха регулируется путем изменения частоты вращения ротора, для привода которого используют асинхронные электродвигатели с тиристорной системой управления. Широко известна АСР «Тировент 313-3» (Швеция), применяемая совместно с регенеративными теплообменниками типа «Эковент».

19.2. Автоматизация систем аспирации и пневмотранспорта

Системы аспирации и пневмотранспорта принципиально похожи на рассмотренные ВВС. Они являются неотъемлемой частью технологического цикла, который и определяет их алгоритмы функционирования и управления. Так, местные отсосы, удаляющие взрывоопасные и вредные вещества 1...2-го классов, должны быть сблокированы с оборудованием так, чтобы оно не могло работать без аспирации и обеспечивалась обязательная сигнализация о действии вентустановки. Если после этого возможно выделение вредностей, следует предусмотреть блокировку с вентилятором резервной аспирации, в особенности, когда нельзя остановить основное оборудование.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Очистные устройства (скрубберы, циклоны, пылеуловители, фильтры и т. д.) независимо от принципа их действия и конструкции позволяют обойтись простыми средствами автоматизации при осуществлении основных операций: пуске (останове) устройства, удалении пыли, замене (регенерации) фильтрующего материала.

Пуск вентилятора блокируется с пуском основного оборудования и других механизмов очистных устройств. Например, в целях сокращения расхода воды в скрубберах предусматривается автоматическое прекращение ее подачи при остановке вентилятора, в цепи управления вентилятором промежуточное реле управляет соленоидным клапаном на водопроводе. В мокрых пылеуловителях и промывателях (например, ПВМ) необходимо поддерживать в водяной камере заданный уровень, для чего применяются поплавковые регуляторы уровня прямого действия.

При использовании самоочищающихся масляных и рулонных фильтров по мере загрязнения материала осуществляется его перемотка с одновременной пневмоочисткой от осажденной пыли. Сигналом для включения механизма перемотки служит импульс по перепаду давлений до и после фильтра, а сведения об израсходовании 95% фильтрующего материала дает предупредительная сигнализация. Регенерация фильтров периодическим встряхиванием, вибрацией, продувкой, промыванием в масляных ваннах может осуществляться оператором или автоматически в зависимости от перепада давлений на фильтре.

В процессе перемещения отходов пневмотранспортом необходимо не допускать снижения скорости ниже минимального предела на потенциально опасных с точки зрения возможности засорения участках, а также своевременно сигнализировать о засорении, что выполняют сигнализаторы потока или перепада давлений. При наличии магистральных коллекторов, оборудованных ленточными транспортерами, предусматриваются дистанционное управление и блокировка с вентилятором при накоплении отходов.

19.3. Автоматизация аэрационных устройств

Аэрация является наиболее экономичной разновидностью вентиляции, обеспечивающей создание в горячих цехах необходимого микроклимата.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Основная задача ее автоматизации состоит в дистанционном и иногда автоматическом управлении открыванием и закрыванием оконных створок на определенный угол. Створки обычно располагаются на большой высоте, подвержены воздействию ветра и находятся в зоне влияния выделений влаги, пыли, вредностей, приводящих к появлению коррозии шарниров и тяг. До решения

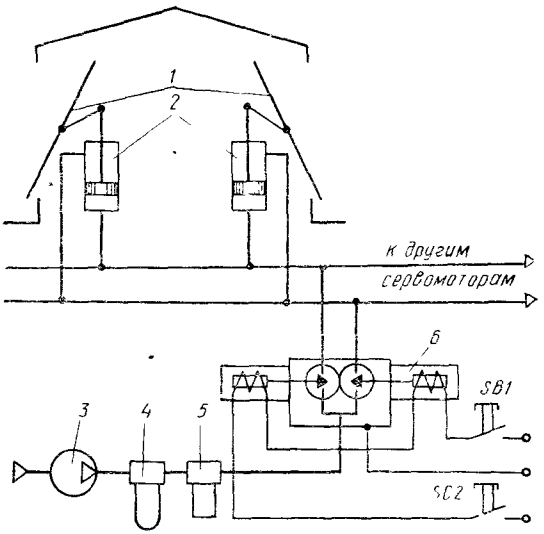


Рис. 19.3

вопроса о схеме автоматизации проектировщик должен на основании теплотехнического и аэродинамического расчетов определить число управляемых створок и объединить их в группы и подгруппы. Группы, подгруппы и отдельные створки могут управляться автономными исполнительными механизмами, а один сервомотор может приводить в действие аэрационные устройства в различных сочетаниях.

В вентиляционной практике получили применение электрические и пневматические системы дистанционного управления приводами аэрационных створок. При этом пневмоавтоматике отдается предпочтение даже в тех случаях, когда на промышленном предприятии отсутствуют подводки сжатого воздуха и применяют небольшие автономные (передвижные) компрессоры.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Схема электропневматического управления створками аэрационного фонаря показана на рис. 19.3. Рычаговый механизм *1* приводится в действие поршневым сервомотором *2,* работающим на сжатом воздухе. Воздух поступает от компрессора *3* через воздухоочиститель *4* и маслоотделитель *5* к электромагнитному распределителю *(ЭМР) 6* с двумя клапанами, перемещение которых осуществляется электромагнитами. Нажимая на кнопку управления *SB1* или *SB2,* воздействуют на *ЭМР,* открывающий доступ воздуха в соответствующую полость пневмоцилиндра, который приводит в действие створки. На схеме не показаны конечные выключатели, ограничивающие перемещение штока привода. Как правило, пневмоцилиндры имеют диаметр около 125 мм, ход поршня 250...400 мм, усилие на штоке при давлении воздуха 0,6 МПа — свыше 7 кН. Это определяет строгие требования к техническому состоянию шарниров и сочленений фрамуг. Они должны быть смазанными и свободно перемещаться, иначе пневмопривод может повредить фонарь. Механизм привода створок выполняется самотормозящим, и при выпуске воздуха из пневмоцилиндра положение створок не изменяется.

В отдельных схемах дистанционного управления используются сигнализаторы положения створок. В ответственных производствах могут применяться автоматические управляющие устройства с датчиками скорости и направления ветра, а также температур внутреннего и наружного воздуха.

19.4. Методы регулирования температуры воздуха

Для обеспечения заданного температурного режима при вентиляции помещений применяют два основных способа регулирования, когда наружный воздух проходит через воздухонагреватель или смешивается в определенной пропорции с рециркуляционным. При наличии регулируемой (воздух) и регулирующей (теплоноситель) сред управляющее воздействие может быть направлено на изменение тепловой мощности воздухонагревателя или объема проходящего воздуха. Методы управления воздухонагревателями зависят от технологических схем, их обвязки (число секций, участвующих в процессе управления, определяется расчетом), а также алгоритма управления (изменение расхода теплоноси-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ля параллельное, ступенчатое, плавное или позиционное, полным или неполным притоком).

Алгоритм управления определяется видом теплоносителя. При теплоносителе-воде или ВОТ регулирующий орган устанавливается на обратном теплопроводе (рис. 19.4, *а*). Закон регулирования — непрерывный. Исключение составляет положение, когда давление в подаю-

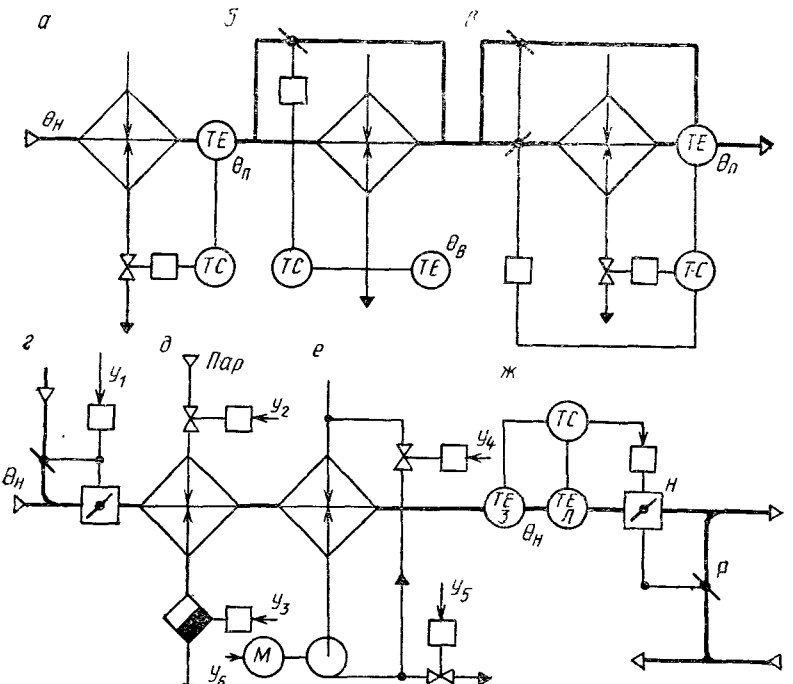


Рис. 19.4

щем теплопроводе превышает допустимое для воздухонагревателя. При теплоносителе-паре регулирующий орган действует обычно по позиционному закону y_2 и устанавливается на подающем теплопроводе (рис. 19.4, *д*). При затоплении воздухонагревателей конденсатом, т. е. изменении активной поверхности, управляющее воздействие y_3 приложено к автоматическому конденсатоотводчику (рис. 19.4, *д*). Можно подмешивать (y_4... y_6) обратную воду к горячей, для чего устанавливают циркуляционный насос с регулируемой частотой враще-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ния или смесительные клапаны, чаще соленоидного типа (рис. 19.4, *е*). Электронагреватели работают, как правило, в позиционном режиме со ступенчатым переключением числа работающих секций нагрева.

Помимо воздействия на расход и характер течения теплоносителя влияние на температурный режим может быть достигнуто изменением соотношения объемов воздуха, идущего через воздухонагреватель и минуя его, путем управления поворотными секционными заслонками (рис. 19.4, *б, в*). Этот метод часто используют при теплоносителе-паре.

Каждый из перечисленных методов может применяться самостоятельно и в комбинации с другими. Наиболее распространен в отечественной практике метод изменения расхода теплоносителя в сочетании с перепуском воздуха в обход воздухонагревателя (рис. 19.4, *в*). Перспективно, хотя и технически труднее реализуемо, управление теплоотдачей за счет изменения температуры теплоносителя.

Рассмотренные методы относились к регулированию по качественному принципу, т. е. изменению температуры приточного воздуха при неизменном его расходе. Заданную температуру внутреннего воздуха можно обеспечить, применяя регулирование по количественному принципу — изменением расхода приточного воздуха. Большая гибкость эксплуатационных режимов, меньшая инерционность объекта, сокращение эксплуатационных затрат теплоты и электроэнергии сделали этот метод перспективным при решении ряда технологических конструктивных вопросов, особенно для СКВ. Возможность его применения зависит от изменения тепловой нагрузки помещений, глубины регулирования (отношения текущего расхода к расчетному), схемы обработки воздуха и ряда других показателей. Различают центральное регулирование воздействием на подачу вентилятора с помощью направляющих аппаратов, индукторных муфт скольжения, многоскоростных электродвигателей, местное (сетевое) — изменением расхода дроссельными устройствами на отдельных ответвлениях сети, байпасированием, и комбинированное. Наибольший эффект по приведенным затратам можно получить от применения направляющих аппаратов и многоскоростных электродвигателей. При количественном регулировании совместно работающих приточных и вытяжных систем,

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

например при двухвентиляторной схеме, необходимо обеспечить синхронизацию работы вентиляторов. Для поддержания некоторого подпора воздуха в помещении подача вентилятора изменяется регуляторами с импульсом по давлению или разрежению.

Размещать датчики температуры в помещении необходимо в местах с достаточной циркуляцией, но с защитой от струй приточного воздуха и облучения от нагретых или холодных поверхностей. Этот способ установки рекомендуется в тех случаях, когда закономерности изменения температурного режима носят случайный характер (рис. 19.4, *б*). Если тепловыделения стационарны и изменение температурного режима предсказуемо, датчики температуры могут быть размещены в воздуховоде (рис. 19.4, *а, в*), что рекомендуется при работе одной (нескольких) установки на несколько (одно) помещений.

Известны схемы управления вентиляционными установками по возмущению и комбинированным способом (см. гл. 18), при которых сигнал поступает от датчика температуры наружного воздуха. Они используются в смесительных устройствах (рис. 19.4, *г*), с применением рециркуляции для экономии теплоты при возможности перенастройки на летний и зимний режимы. Например, датчик *ТЕ(Л)* регулятора (рис. 19.4, *ж*) воспринимает повышение температуры $\theta_н$ летом и перемещает заслонку наружного воздуха *Н* на закрытие, а заслонку рециркуляции *Р* — на открытие. Зимой датчик *ТЕ(З)* при снижении температуры $\theta_н$ закрывает *Н* и увеличивает долю рециркуляции открытием *Р*. Если заслонки приводятся в действие разными исполнительными механизмами, синхронизация их работы осуществляется с помощью балансного реле, реализующего электрическую обратную связь.

19.5. Автоматизация приточных вентиляционных систем

Кроме основных подсистем дистанционного управления, блокировки и автоматического регулирования (управления) температуры воздуха, обеспечивающих надлежащий санитарно-гигиенический эффект, для функционирования приточных вентиляционных систем (ПВС)

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

необходимо иметь дополнительные средства автоматизации.

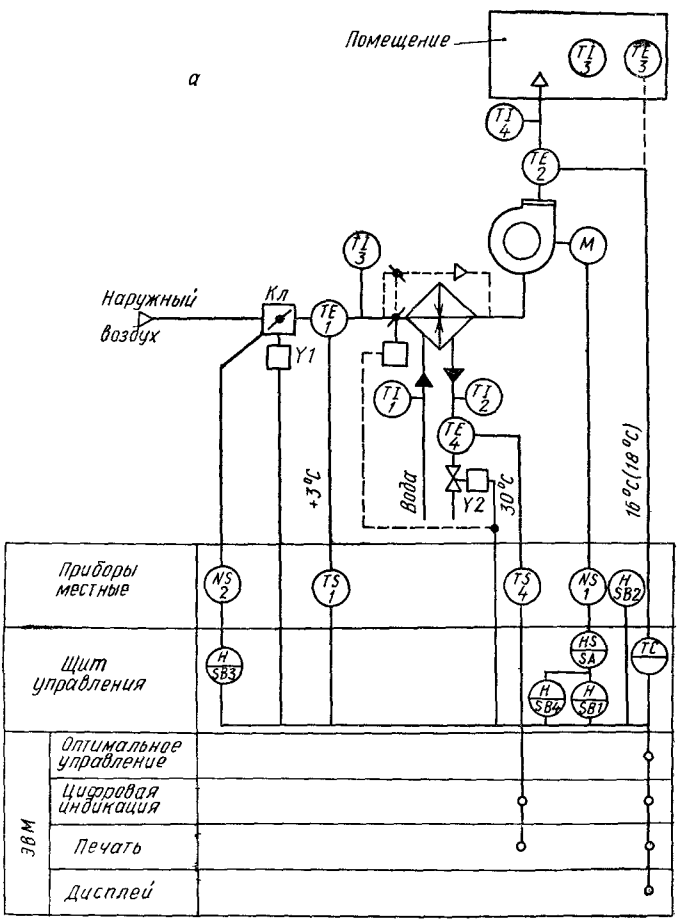
Автоматическое включение резервного вентилятора предусматривается при подаче воздуха в тамбуры-шлюзы взрывоопасных производств.

При наличии рециркуляционной двухвентиляторной схемы необходимо блокировкой обеспечить условия для совместной работы вентиляторов и сигнализацию о нормальном режиме работы. В некоторых ПВС при низких температурах наружного воздуха и относительно малом расходе (или низкой температуре) теплоносителя может возникнуть угроза замерзания воды в воздухоподогревателе. Чтобы это не произошло, предусматривают технологическую защиту, которая осуществляется автоматическим воздействием на прогрев воздухоподогревателя, выключением вентилятора, включением электрообогрева приемного воздушного клапана и т. д. В защите нет необходимости, если температура смеси наружного и рециркуляционного воздуха во всем диапазоне положительна.

На рисунке представлены схема автоматизации (рис. 19.5, *а*) и фрагмент принципиальной электрической схемы (рис. 19.5, *б*) приточной вентустановки с подогревом воздуха. В состав подсистем входят местное и дистанционное управления электрооборудованием с помощью переключателя *SA* и кнопочных станций *SB1...SB4*. Требуемая температура воздуха в помещении поддерживается с помощью регулятора температуры *TC*, датчик которого *TE(3)* размещается в помещении или в воздуховоде после вентилятора *TE(2)*. Регулятор управляет исполнительным механизмом *Y2* клапана на обратной линии теплоснабжения воздухоподогревателя (теплоноситель — вода). Для технологической защиты воздухоподогревателя от замерзания в схему включен позиционный регулятор температуры *TS*, один датчик которого *TE(4)* установлен в теплопроводе после воздухоподогревателя, а второй *TE(1)* — в воздухопроводе перед ним. Когда температура воды понизится до 30 °С, а наружного воздуха будет ниже 3 °С, регулятор *TS* отключит вентилятор и закроет приемный утепленный клапан *Кл*. Кнопочная станция *SB3* и магнитный пускатель *NS(2)* служат для управления электрообогревателем утепленного клапана на случай эксплуатации при температурах ниже пределов, предусмотренных основной схемой. Опыт экс-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

плуатации автоматизированных ПВС показывает, что оборудование электрозащитой экономически эффективнее Схема автоматизации изображена упрощенно, без реле потока воздуха, фильтра, рециркуляционных трубопроводов, которые приведены на рис. 19.1. На схеме пунктиром дан вариант автоматического регулирования температуры воздействием на расход теплоносителя и соотношение между объемами воздуха. Такой метод позволяет уменьшить запаздывание в АСР, так как скорость теплоносителя меньше скорости воздуха, особенно при



Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

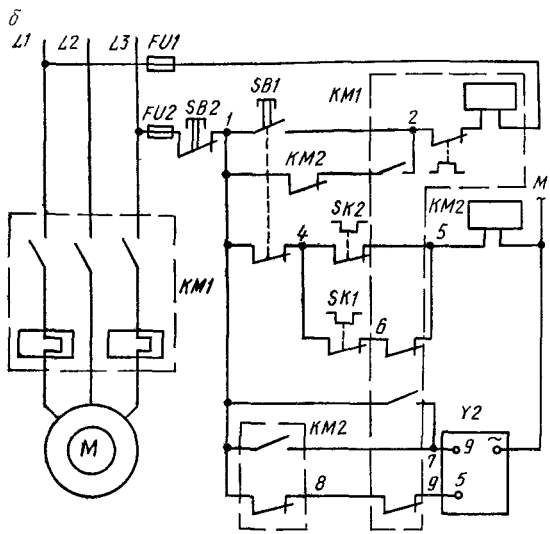


Рис. 19 5

малой теплоемкости объекта и при использовании в качестве теплоносителя пара.

В зависимости от сочетания динамических параметров объекта и ПВС в схемах регулирования могут применяться регуляторы непрерывного (И, П, ПИ) и дискретного (позиционные, импульсные) действия. Во многих схемах автоматизации ПВС используются импульсные преобразователи, например ступенчатые (СИП), позволяющие значительно уменьшить перерегулирование. С целью повышения экономичности применяют совокупный способ изменения теплопроизводительности воздухоподогревателя.

В более сложных технологических схемах ПВС, например многорежимных, многовентиляторных, с вентиляторами переменной производительности, многокамерных, управление осуществляется по циклограмме — регламенту выделения вредностей. При использовании ЭВМ развернутая схема автоматизации несколько усложняется, как показано на рис. 19.5, *а*

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

19.6. Автоматизация воздушных завес

По принципу действия воздушные завесы (ВЗ) не отличаются от рассмотренных простейших ПВС с подогревом воздуха, но ТСА должны обеспечить определенное взаимодействие устройств, входящих в состав завесы (ворота, приточная установка), а также транспортных средств и людей.

Действие системы начинается с дистанционного управления приводом ворот *М1*, на который можно воз-

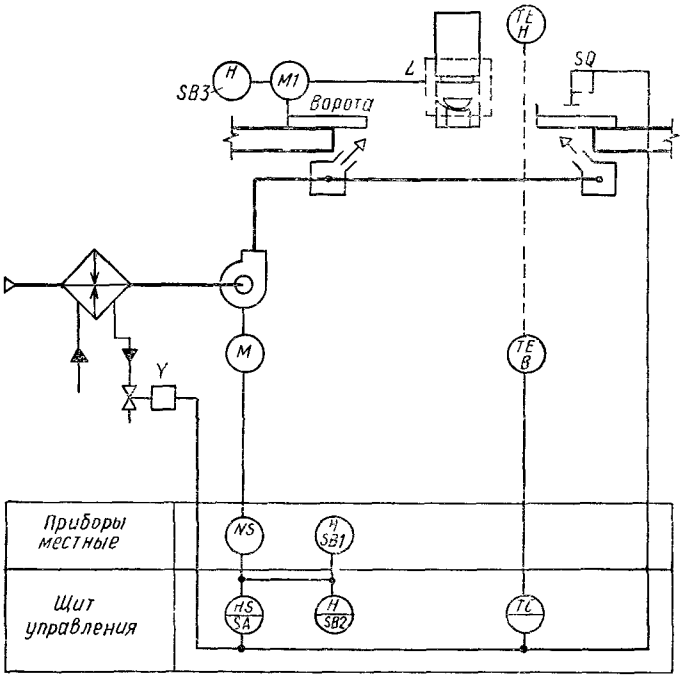


Рис. 19 6

действовать вручную с помощью кнопочной станции *SB3* или автоматически, как показано на схеме (рис. 19.6), когда транспорт (автомобиль) наезжает на вмонтированный в грунт индукционный датчик *L*. Металлические детали машины обусловливают формирование импульса, который командует операцией «ворота открываются сами», включая привод ворот. Пуск и останов завесы производится при открывании и закрывании ворот с по-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

мощью концевого выключателя *SQ*. В зависимости от температуры воздуха в помещении изменяется теплоотдача воздухонагревателя: регулятор *TC*, например типа ТМ или ТЭ, воздействует на исполнительный механизм клапана Y, увеличивая или уменьшая расход теплоносителя. При закрытых воротах завеса может включаться при падении температуры воздуха в помещении ниже установленной. С отключением электродвигателя вентилятора автоматически закрывается сблокированный с ним соленоидный клапан Y, сокращая подачу теплоносителя. Практика эксплуатации ВЗ показывает недостаточную эффективность такой блокировки. Ручное управление осуществляется кнопками *SB1* и *SB2*. Одним из эффективных вариантов автоматизации ВЗ является автоматическое управление по температуре наружного воздуха (связь с датчиком *TE* показана пунктиром) вентилятором переменной подачи, например воздействием на его направляющий аппарат. В некоторых схемах автоматизации используют импульс по перепаду давлений внутри и снаружи здания, но их реализация довольно сложна.

19.7. Автоматизация воздушного отопления

Схема автоматизации централизованной системы воздушного отопления (ВО) практически не отличается от автоматизации приточной вентиляционной установки. Необходимым условием является автоматический пуск резервного вентилятора в случае аварии с одновременной световой и звуковой сигнализацией (рис. 19.7, *а*).

Особенность технологической схемы заключается в наличии группы воздухоподогревателей, управление теплоотдачей которых обычно осуществляется последовательно, начиная с последнего по ходу воздуха при повышении $\theta_в$ или с первого — при понижении $\theta_в$. Технологическая защита первого подогревателя осуществляется по известному из параграфа 19.5 принципу.

В большинстве производственных помещений наряду с электрическими устанавливаются автономные отопительно-вентиляционные агрегаты, соединяемые в группы по виду теплоносителя — воды, пара, реже газа (рис. 19.7, *б*).

Автоматическое регулирование температуры воздуха в помещении осуществляется позиционным управлением

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

электродвигателями *M1...M3* вентиляторов с одновременным действием электромагнитного клапана *YA* на подающем теплопроводе при теплоносителе-паре. При теплоносителе-воде управляют только включением вентиляторов. Электрокалориферы имеют несколько секций равной мощности, которые работают по сигналу от терморегуляторов с несколькими задающими устройствами, настраиваемых на различные диапазоны температуры воздуха. При автоматизации таких агрегатов необходи-

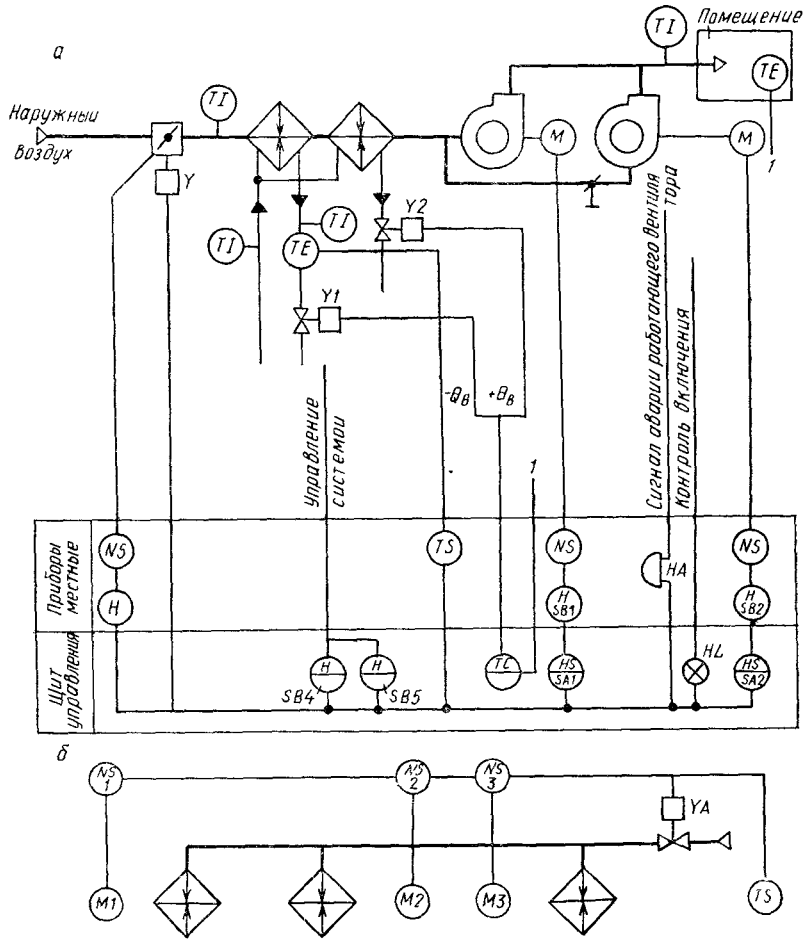


Рис. 19.7

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

мо теплотехническим расчетом определить требуемое число агрегатов, секций или их сочетание, чтобы избежать резких колебаний теплоотдачи при двух- и трехпозиционном регулировании. В схемах автоматики, как правило, используют простые биметаллические терморегуляторы ДТКБ-53.

Глава 20. АВТОМАТИЗАЦИЯ УСТАНОВОК ИСКУССТВЕННОГО КЛИМАТА

Установка искусственного климата (УИК) предназначена для обеспечения требуемого воздухообмена при заданных температуре, влажности, подвижности, запыленности, а в некоторых случаях давлении, ионизации и одоризации воздуха. Таким образом, на долю средств автоматизации УИК выпадает значительно большая нагрузка, чем на вентиляционные установки, хотя большинство принципов автоматизации последних используются в УИК.

В состав УИК входят система кондиционирования воздуха или кондиционер, где происходит технологическая обработка паровоздушной смеси, холодильная машина или другой источник холода, а также вспомогательное оборудование: насосы, подогреватели, градирни, сборные емкости и т. д.

Задачей оптимального управления УИК является обеспечение взаимосвязанной работы указанных элементов, что довольно сложно. На практике чаще встречается раздельное управление СКВ, холодильными машинами и прочим оборудованием.

Схемы и принципы автоматизации УИК зависят от технологической схемы, других признаков, по которым классифицируют УИК: по взаимному расположению объекта и СКВ, по давлению в системе, по схеме обработки воздуха, по продолжительности функционирования, по точности (обычная и прецизионная), по назначению и т. д.

20.1. Термодинамические основы автоматизации СКВ

В задачу управления СКВ входит организация воздействия на основные термодинамические процессы, к которым относят нагрев, охлаждение, увлажнение, осушение воздуха и смешение его в различных объемах.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Процесс тепловлажностной обработки паровоздушной смеси принято изображать на *I—d*-диаграмме, где указываются последовательность операций и основные процессы, протекающие в определенных секциях кондиционера. По диаграмме можно установить управляющие воздействия, выбрать регулирующие органы для их реализации, оценить эффект регулирования по различным

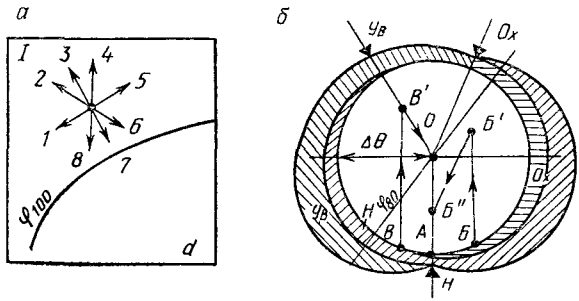


Рис. 20.1

принципам, а также точность поддержания параметров.

Таким образом, *I—d*-диаграмма выступает в качестве своеобразного термодинамического алгоритма управления. Например, можно представить управляющие воздействия в виде векторов (рис. 20.1, *а*), каждый из которых определяет: *1*— охлаждение и осушение, *2*—осушение, *3* — нагрев и осушение, *4* — нагрев, *5* — нагрев и увлажнение, *6* — увлажнение, *7* — охлаждение и увлажнение, *8* — охлаждение. Из этих векторов *2, 4, 8* являются определяющими, остальные — производными. На *I—d*-диаграмме можно выделить область регулирования, позволяющую количественно оценить энергоносители, а также выбрать соответствующее оборудование. Для этого из точки *О* с заданными параметрами состояния проводится окружность, охватывающая возможные отклонения параметров, например температуры $\Delta\theta$ (рис. 20.1, *б*). Считается, что при отклонении режимная точка может быть возвращена в исходное положение одним из трех управляющих воздействий — нагревом *Н*, осушением с охлаждением *Ох* и адиабатическим увлажнением *Ув*. Направления этих воздействий определяют секторы преимущества, причем очевидно, что в пределах каждого можно обойтись максимум двумя воздействиями. Например, из точки *А* в точку *О* можно попасть, при-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

меняя только нагрев, а из точки *Б* — используя последовательно нагрев (до *Б′*), осушение охлаждением (до *Б″*) и последующий нагрев (до *О*). Количество подводимой и отводимой теплоты определяется суммой или разностью энтальпий воздуха в соответствующих точках. Если в произвольном масштабе отложить по радиусу числовые значения подводимой или отводимой теплоты, можно получить энергетическую диаграмму для оценки каждого из процессов (заштрихованы).

Оригинальное использование *I—d*-диаграммы, на которой область наружного климата разбита на участки, позволяющие выявить целесообразные схемы СКВ для конкретного принципа регулирования, предложено проф. А. Я. Креслинем. Разработанный проф. А. А. Рымкевичем метод оптимизации СКВ базируется на систематизации предельных показателей, а определение минимально неизбежных расходов теплоты, холода, воздуха и воды основано на предложенной им термодинамической модели СКВ.

20.2. Принципы и способы регулирования влажности в СКВ

Различают два основных принципа регулирования влажности — прямой и косвенный. Их использование зависит от характера влаговыделений в объекте регулирования. При нерегулярных влаговыделениях по неизвестной закономерности датчик регулятора должен быть установлен в самом помещении для измерения относительной влажности — принцип прямого регулирования влажности. Принцип косвенного регулирования, или управления влажностью в помещении, используется при малых влаговыделениях, а также при известной закономерности их появления. В этом случае измеряется не относительная влажность φ, а точка росы $\theta_р$ после камеры увлажнения или вентилятора. В настоящее время этот принцип нашел преимущественное распространение, хотя точность поддержания φ в помещении по сравнению с прямым регулированием снижается.

Изменение влажности по любому из сигналов φ или $\theta_р$ осуществляется рядом способов, отдельные из которых показаны на рис. 20.2. По схеме на рис. 20.2, *а* вода в камеру увлажнения поступает из подогревателя, степень нагрева регулируется изменением расхода первич-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ного теплоносителя y_1. На схеме 20.2, *б* управляющее воздействие y_2 приложено к смесительному клапану холодной и обратной воды. Управление смешением сухого и увлажненного воздуха осуществляется по схеме 20.2, *в*, причем возможны два варианта: под воздействием y_3 исполнительное устройство приводит в действие одну заслонку *РО1* или спаренные заслонки *РО1* и *РО2*, из-

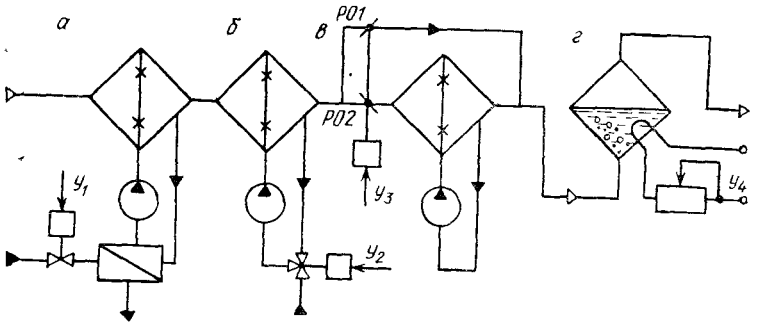


Рис. 20.2

меняющие соотношение расходов воздуха. Паровой увлажнитель, показанный на схеме 20.2, *г*, функционирует по принципу барботажа, а воздействие y_4 приложено к электрической схеме электроподогревателя, изменяющего точку росы воздуха.

В летнее время целесообразно для снижения расхода холода переводить СКВ на режим работы с рециркуляцией, для чего используются регуляторы энтальпии воздуха. Автомат интегрирует импульсы от двух электрических датчиков — влажности воздуха и температуры, включенных в два перекрестно-сдвоенных моста переменного тока (точность $\pm 0{,}5$ Дж/кг).

20.3. Автоматизация центральных СКВ

Схемы автоматизации СКВ могут быть различной сложности и насыщенности ТСА в зависимости от их устройства, назначения и алгоритмов функционирования и управления. При этом большое значение имеет обеспечение правильной последовательности работы отдельных секций СКВ, что необходимо предусмотреть, составляя технологическую схему. На рис. 20.3 приведена схе-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

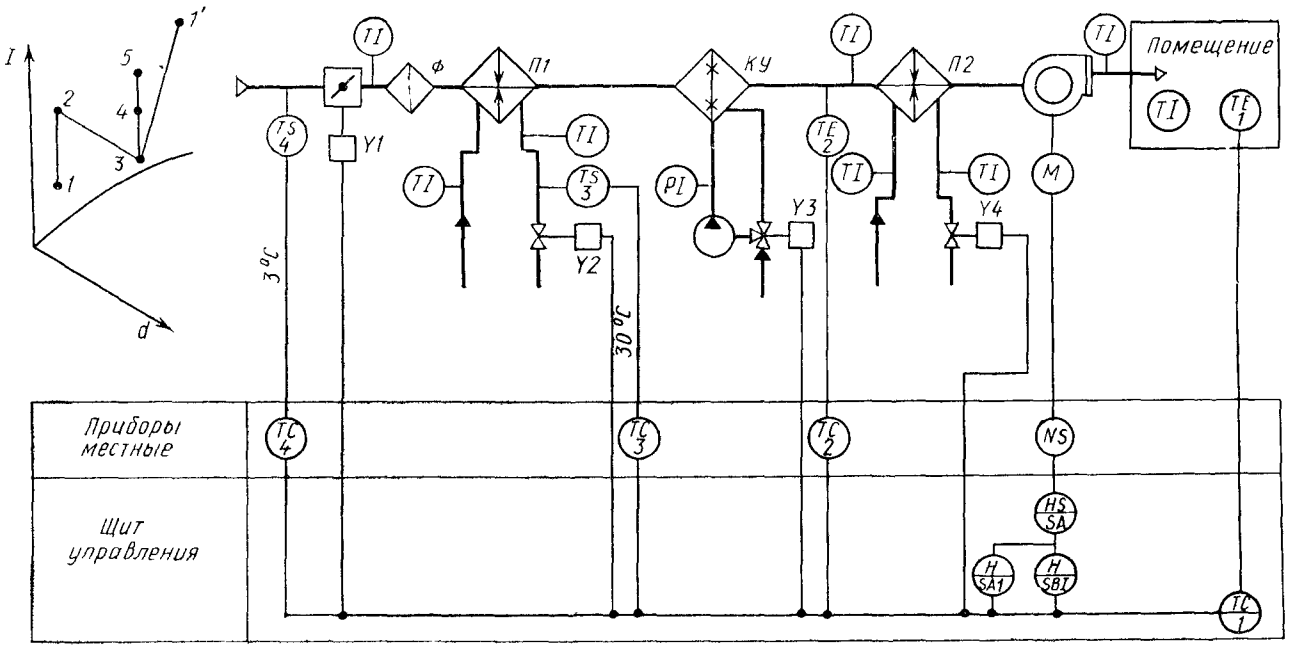


Рис. 20.3

Электронная библиотека http://igv.khstu.ru/

ма автоматизации прямоточной СКВ с двумя независимыми контурами регулирования температуры воздуха в помещении и влажности косвенным методом. Там же показано построение технологического процесса на *I—d*-диаграмме.

В воздухоподогревателе *П1* наружный воздух, пройдя фильтр *Ф*, зимой подогревается до состояния, соответствующего точке *2*, затем адиабатически увлажняется и охлаждается в камере увлажнения *КУ*, достигая параметров точки *3*, и после прохождения через воздухоподогреватель *П2* поступает в помещение с параметрами точек *4* или *5* (поглощая теплоту, выделяющуюся в помещении). Летом наружный воздух с параметрами точки *1'* охлаждается в камере увлажнения и при необходимости подогревается. Требуемая температура воздуха поддерживается регулятором *ТС(1)* с датчиком *ТЕ(1)*, устанавливаемым в помещении. Датчик управляет клапаном *У4* воздухоподогревателя *П2*, изменяющим расход теплоносителя. Наличие в СКВ контура регулирования точки росы позволяет получить после камеры увлажнения воздух с практически постоянным влагосодержанием, что после обработки его в воздухоподогревателе *П2* дает возможность поддерживать заданную влажность воздуха в помещении. В холодный период года датчик точки росы *ТЕ(2)* воздействует на теплопроизводительность воздухоподогревателя *П1* при помощи автоматического клапана *У2*. При этом сервомотор *У3* перемещает трехходовой клапан в положение, при котором камера увлажнения работает на рециркуляцию. В летнее время регулятор *ТС(2)* действует на клапан *У3* и камера увлажнения работает с частичным или полным использованием холодной воды, клапан *У2* закрыт. Переход с зимнего режима на летний и наоборот осуществляется автоматической блокировкой сервомоторов клапанов *У2* и *У3*. Автоматическая защита воздухоподогревателя *П1* от замерзания теплоносителя осуществляется датчиком *TS(4)* регулятора *ТС(4)*. Защита дублируется регулятором *ТС(3)*, датчик которого настроен на предельную температуру +30 °С в обратном теплопроводе, понижение которой также приводит к аналогичному действию— пропусканию воды через подогреватель.

На примере схемы регулирования водовоздушной СКВ с неавтономными доводчиками (рис. 20.4) представлены ТСА для комфортного кондиционирования.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

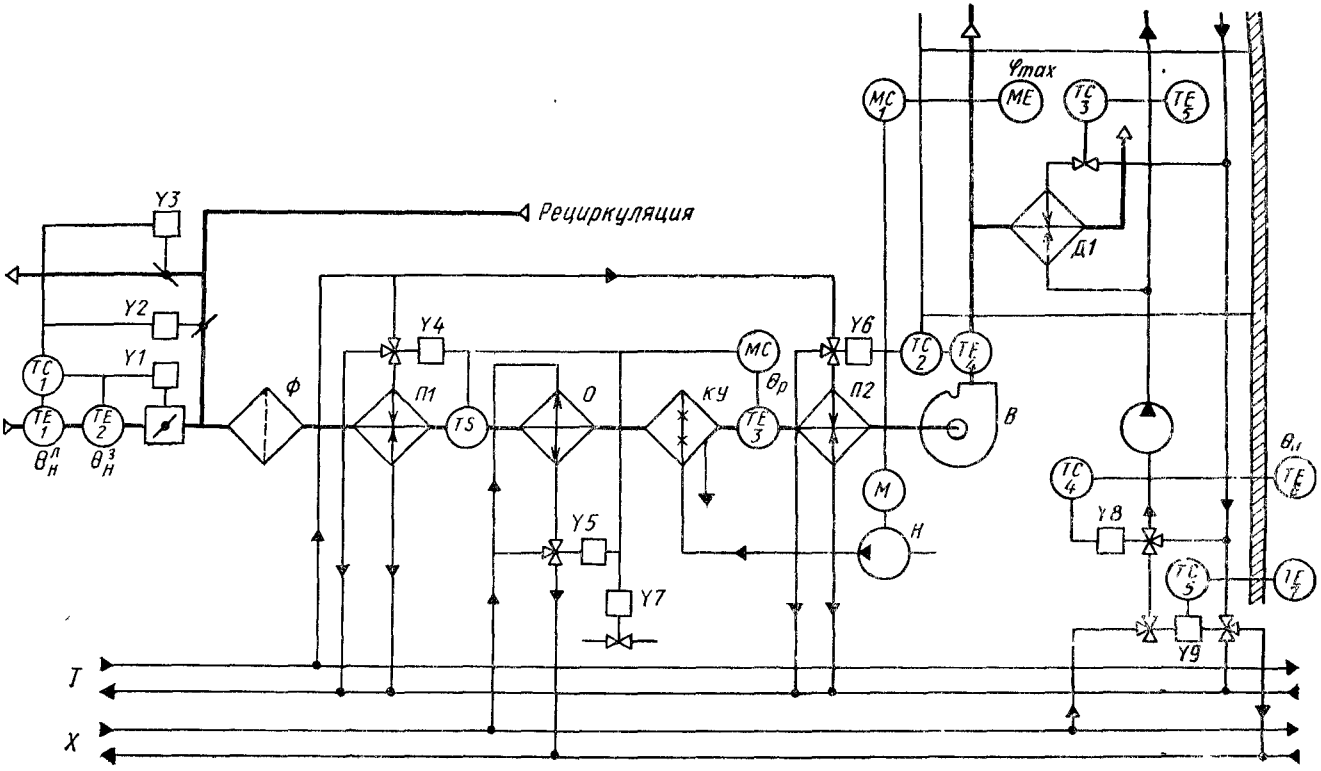


Рис. 20.4

Электронная библиотека http://lgv.khstu.ru/

Датчик *TE(1)* регулятора *TC(1)* в зависимости от температуры наружного воздуха $\theta_н^л$ закрывает летом при высокой температуре заслонки *Y1* и *Y3*, открывая спаренную с ними *Y2*. Аналогичным образом действует другой датчик *TE(2)* при низких зимних температурах $\theta_н^з$.

В схеме предусмотрено косвенное регулирование влажности по точке росы $\theta_р$ датчиком *TE(3)*, который воздействует на пропорционирующий клапан *Y5* поверхностного охладителя *O* и *Y4* подогревателя *П1*. При непосредственном охлаждении, когда функцию охладителя выполняет испаритель холодильной машины, вместо воздействия на *Y5* предусмотрено воздействие на терморегулирующий клапан *Y7* холодильной машины. Если регулируется относительная влажность воздуха в помещении, то на камеру увлажнения воздействуют по одной из схем (см. рис. 20.2), а при переходе за верхний предел влажности φ_{max} ограничитель *MC(1)* выключает насос *H*. Термостат *TC(2)* обеспечивает постоянную температуру приточного воздуха $\theta_п$ (15...18 °С) воздействием на клапан *Y6* подогревателя *П2*. *TS* — защита подогревателя *П1* от замерзания теплоносителя. Воздух расчетной температуры поступает в доводчики *Д1...ДN*, присоединенные к магистралям тепло- и хладоносителя *T* и *X*, которые переключаются на зимний и летний режимы регулятором *TC(5)*. Температура теплоносителя поддерживается регулятором *TC(4)* в зависимости от температуры наружного воздуха $\theta_н$. В помещениях может быть установлен комнатный индивидуальный терморегулятор *TC(3)*, изменяющий тепло- и хладоотдачу теплообменника доводчика.

Регуляторы могут быть электрическими или пневматическими, во втором случае предусматривается прокладка магистрали сжатого воздуха.

Агрегатные неавтономные кондиционеры, например типа КНУ, представляют секционные шкафные установки, в которых производится смешение наружного и рециркуляционного воздуха, очистка, нагрев и увлажнение зимой и охлаждение летом с нагревом до требуемых параметров. Кондиционеры КНУ оборудуются пневмоавтоматикой, воздухоохлаждающие агрегаты типа ВА— электроавтоматикой.

При управлении СКВ по методу оптимальных режимов (проф. А. Я. Креслинем их выявлено 13, из них

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

1...8 не требуют искусственного охлаждения, а для 9... ...13 оно необходимо) используются пять исполнительных механизмов, которые управляют первой рециркуляцией, обводом камеры увлажнения, первым и вторым подогревом и подачей хладоносителя в камеру увлажнения, для чего составлен оптимальный алгоритм, увязывающий их взаимодействие. Датчики температуры и относительной влажности устанавливаются непосредственно в помещении.

20.4. Автоматизация холодильных установок

Автоматизация холодильных установок машинного охлаждения предполагает особые требования к основному технологическому оборудованию (СКВ) и технологической схеме установки в отношении повышенной надежности, обеспечения автоматической защиты агрегатов и снижения вероятности появления аварийного режима.

Основными регулируемыми величинами являются температура, давление, уровень и расход холодильного агента, влияющие на определяющий параметр — холодопроизводительность. Методы управления холодопроизводительностью устанавливаются функциональной зависимостью $Q_0=\lambda_0 q_v V_к$, где $\lambda_0=f(p_к/p_0)$ — коэффициент наполнения; $p_к$, p_0—давление конденсации и испарения; q_v—удельная холодопроизводительность; $V_к$—объемная подача компрессора. В общем случае для поршневых машин $V_к=Fsnkz$, где F—сечение цилиндров; s—ход поршня; n — частота вращения привода; k — кратность действия; z — число цилиндров. Анализируя эти формулы, нетрудно установить основные управляющие воздействия при регулировании холодопроизводительности: отключение компрессора или определенного числа цилиндров, изменение кратности действия, перепуск хладоагента (отжатием всасывающих клапанов), изменение частоты вращения.

Лопаточные турбокомпрессоры управляются автоматическим поворотом направляющего аппарата или дросселированием на всасывании изодромными регуляторами. При этом предусматривается дополнительная защита от осевого сдвига ротора. Пароэжекторные установки автоматизируются легче, управление ими сводится к воздействию на насосы хладоносителя и конденсаторной

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

воды, к поддержанию уровня в испарителе и регулированию главных и вспомогательных эжекторов. Регулирование уровня в испарителях необходимо и для исключения заброса хладоагента в компрессор, работающий в режиме сухого или парового хода. Регулирование теплоиспользующих абсорбционных установок, работающих на бинарных бромистолитиевых и водоаммиачных смесях, также несложно. Оно осуществляется путем изменения подвода теплоты (с водой, паром) или изменения мощности электроподогревателя. В малых одноиспарительных установках регулирование производится позиционно — пуском — остановом компрессора, в многоиспарительных и крупных находят применение алгоритмы импульсного и плавного регулирования. Импульс регуляторы получают от датчиков температуры, устанавливаемых в помещении или на поверхности теплообменника, либо от датчика давления кипения хладоагента (часто используется функциональная связь между температурой и давлением насыщенного пара). Управление установками безмашинного охлаждения (льдосоляными, испарительного охлаждения и т. п.) осуществляется дроссельным регулированием и воздействием на подачу насосов.

Пример схемы автоматизации компрессорной хладоновой (фреоновой) холодильной машины типа ХМ-ФУ40 или ХМ-ФУ80 средней холодопроизводительности с хладоносителем — водой приведен на рис. 20.5. Технологическая схема имеет испаритель *I*, теплообменники *II*, ресивер *III* и агрегат, состоящий из конденсатора *IV*, компрессора *V* с электродвигателем *VI*. С помощью позиционных регуляторов давления *PS(1)* и *PS(2)* типа РД-3-01 компрессор отключается и тем самым защищается от чрезмерного повышения давления хладона $p_н$ на линии нагнетания и понижения давления $p_в$ на всасывании. Реле *PDS(3)* контролирует перепады давления смазочного масла, обеспечивая нормальный режим работы подшипников компрессора. Для защиты испарителя от замерзания воды используется позиционный терморегулятор *TS(4)*, датчик которого *TE(3)* установлен в трубопроводе после испарителя или в промежуточном баке охлажденной воды и настроен на температуру 1... ...3 °С. При падении температуры воды ниже установленного значения промежуточное реле включает компрессор. Однако на внезапное прекращение циркуляции

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

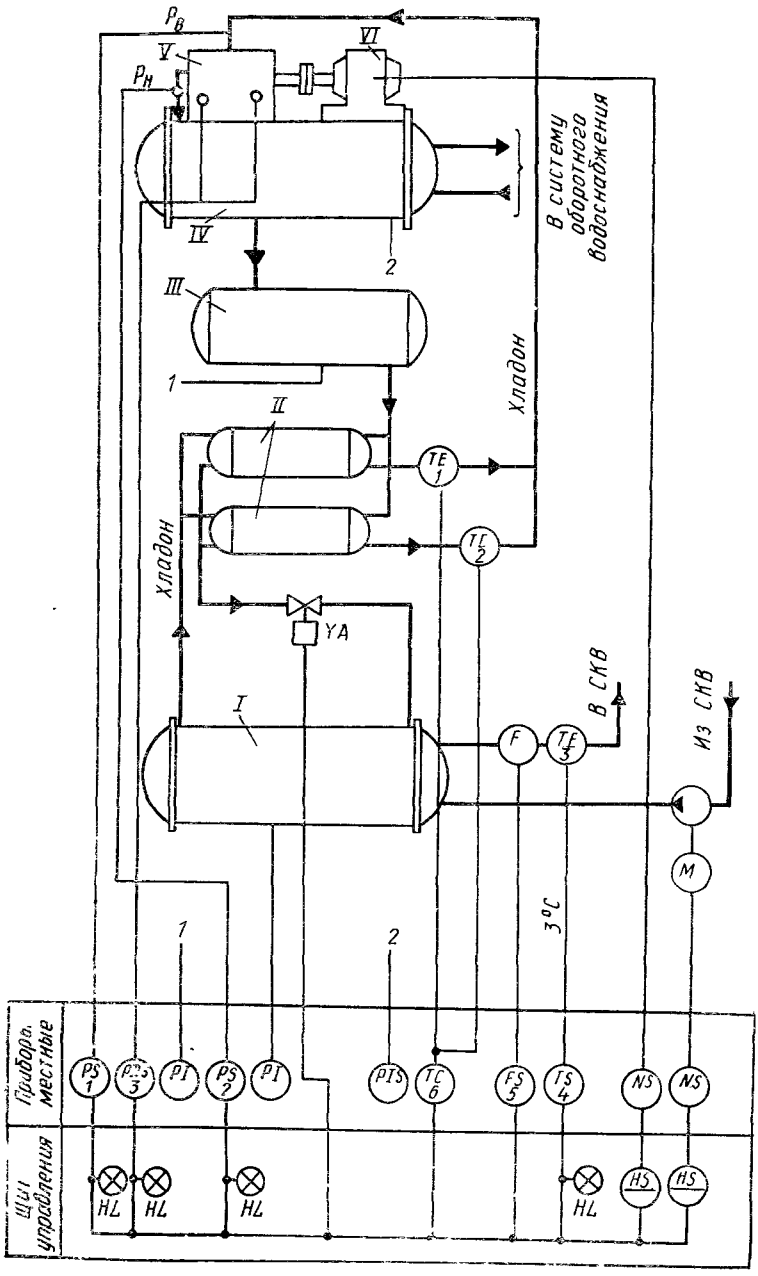


Рис. 20.5

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

воды через испаритель регулятор *TS(4)* вследствие инерционности системы может отреагировать с запаздыванием, вплоть до замерзания воды, поэтому в схеме предусмотрен дублирующий регулятор расхода *FS(5)*. На схеме не показаны автоматические предохранительные клапаны на элементах установки, работающих под давлением с объединением сброса в одну магистраль (для аммиака — выпуск на 5 м выше конька кровли). Терморегулятор *TC(6)* поддерживает требуемую температуру испарения в *I*, увеличивая или уменьшая подачу хладона с помощью электромагнитного клапана *YA*, который включается в схему автоматизации холодильной машины при стабилизации температуры воды или СКВ. При отключении компрессора на щите управления загорается сигнальная лампа того узла, в котором произошло нарушение. По истечении времени остановится и насос оборотного водоснабжения, сблокированный с компрессором, который может работать только при действующем насосе.

20.5. Автоматизация автономных кондиционеров

Технологические функции автономного кондиционера ограничены охлаждением (нагревом) воздуха с частичной очисткой от пыли и, реже, увлажнением пароувлажнителями подогревного типа или форсуночными. Главным агрегатом является холодильная машина с конденсатором, охлаждаемым водой или воздухом.

В схеме автоматизации распространенных кондиционеров типа КВ и КС предусматривается управление вентилятором, регулирование температуры в помещении и давления (разрежения) в цикле холодильной машины (см. параграф 20.4). Кондиционеры КС имеют воздухоподогреватель и соответственно режимы работы: вентилятор — компрессор (охлаждение), вентилятор — подогреватель (нагрев), при-

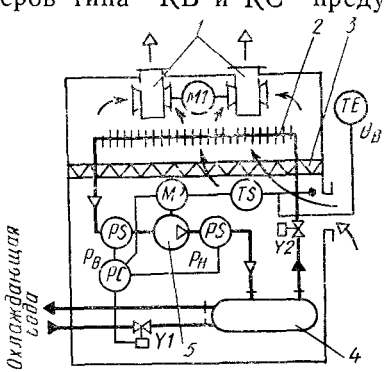


Рис. 20 6

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

чем в каждом режиме температура воздуха поддерживается автоматически.

На рис. 20.6 показана схема автоматизации кондиционера КА-6А, работающего в режиме охлаждения. Шкафная установка разделена фильтром *3* на два отсека. Верхний — технологический с воздухоохладителем-испарителем *2* и двумя вентиляторами двустороннего всасывания *1*, включенными в общую схему управления (с пуском компрессора включаются вентиляторы). В нижнем отсеке располагаются компрессор *5*, конденсатор *4*, хладоновый регулирующий клапан *Y2*, магистрали охлаждения конденсатора с автоматическим клапаном *Y1*, поддерживающим температуру конденсации по сигналу $p_н$ давления хладона. Алгоритм функционирования терморегулятора *TS* — двухпозиционный, датчик *TE* включен в цепь управления электродвигателя компрессора и выключает его по достижении заданной температуры воздуха. Регулятор *PC* поддерживает заданную разность $p_д$—$p_в$ в холодильном цикле, т. е. холодильную нагрузку, также отключением компрессора. Датчики *TE* температуры $\theta_в$ устанавливают в помещении или в приемном отверстии кондиционера.

Глава 21. АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ И ГАЗОПОТРЕБЛЕНИЯ

Принципы автоматизации систем газоснабжения и газопотребления зависят от основных технологических процессов, к которым относятся: перемещение, хранение и сжигание газа в промышленных и бытовых установках. Некоторыми особенностями отличается использование сжиженных газов.

Специфика систем газоснабжения и газопотребления определяет оснащение подсистемами автоматического регулирования технологических параметров и автоматикой безопасности, причем последней уделяют большее внимание, имея в виду требования охраны труда и надежности эксплуатации оборудования.

21.1. Автоматическое регулирование давления и расхода газа

Структура газоснабжающих систем может быть различной в зависимости от размеров поселений и числа (мощности) потребителей. Применяются одно-, двух- и

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

многоступенчатые системы распределения газа, в элементах которых (ПГРС, КРП, ГРС, газгольдеры, ГРП и др.) происходит последовательное снижение (редуцирование) давления до рабочего. Используемые в газоснабжении регуляторы давления принципиально не отличаются от регуляторов общепромышленного назначения.

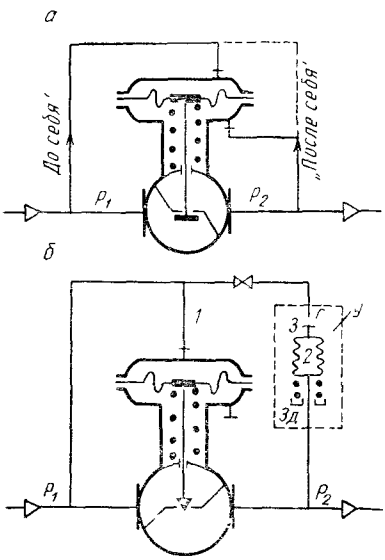


Рис 21 1

При непрерывном потоке газа регулятор поддерживает высокое давление перед затворным органом или низкое после него. Давление за регулятором всегда ниже за счет потерь энергии на дросселирование.

В технике газоснабжения используются термины: регулятор «до себя», если он регулирует давление на подводе, и «после себя» при поддержании низкого давления на отводе. Соответственно входные сигналы регулятор получает с разных сторон (рис. 21.1, *а*). Привод затвора уменьшает расход при снижении p_1 (вариант «до») и при увеличении p_2. Импульсные трубки присоединяются к разным полостям регулятора (см. рис. 21.1, *а*). При присоединении к надмембранной полости (показано пунктиром) надо изменить положение затвора регулирующего органа на обратное. Наиболее распространены мембранные регуляторы прямого действия «после себя» и регуляторы непрямого действия пневматические, электрические и, реже, гидравлические. На рис. 21.1, *б* показан простейший регулятор давления непрямого действия с усилителем *У* типа сопло — заслонка (в технике газоснабжения усилители называют «пилотами»). Регулятор стабилизирует низкое давление p_2 за счет использования энергии потока газа с высоким давлением p_1 (может быть применен автономный источник, например, сжатого воздуха). Сильфонный датчик *2* с задающим устройством *Зд* воспринимает изменение давления p_2 и

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

преобразует в перемещение заслонки *3*, прикрывающей при увеличении p_2 сопло *С*. Давление в импульсной линии *1* увеличивается и передается на мембрану исполнительного устройства, закрывающего затвор регулирующего органа, после чего давление начинает падать до заданного.

Редукционные клапаны (редукторы) — регуляторы-стабилизаторы — могут использоваться самостоятельно, например в газобаллонных установках, а также служить управляющими устройствами в регуляторах непрямого действия. Пилоты по устройству похожи на редукторы, разница заключается в том, что их мембранная полость получает управляющий сигнал от выходного давления исполнительного устройства. Последнее может существенно отличаться от давления под рабочей мембраной. Это обстоятельство позволяет уменьшить габариты исполнительных механизмов при относительно большом перестановочном усилии. В случае небольшого перепада p_1—p_2 при дросселировании газа происходит переохлаждение, а иногда и обмерзание дросселирующих устройств. Например, при снижении давления с 4 до 0,3 МПа температура газа понижается на 17...19 °С на единицу давления. Образующиеся в газе кристаллогидраты могут закупоривать проходные сечения, способствуя примерзанию подвижных деталей и затворов регуляторов, для исключения чего применяется искусственный обогрев теплоносителями или электрообогрев.

Представляет интерес конструкция регулятора, показанного на рис. 21.2, с мембранным исполнительным устройством и прямоточным регулирующим органом *И*, пневмоусилителем (пилотом) *П* и стабилизатором перепада давления *С*. Оригинальна конструкция затвора регулирующего органа, имеющего по сравнению с известными клапанами и заслонками пониженное гидравлическое сопротивление. Исполнительное устройство *И* состоит из трубчатого подвижного седла *1*, приводимого мембраной *4*, неподвижного затвора *10* и возвратной пружины *2*. В его корпусе предусмотрены камеры *3* для обогрева. При определенном давлении в трубопроводе подвижное седло прижато к затвору, подвижное сопло *5* стабилизатора и неподвижное *7* пилота открыты, а сбросной клапан *9* закрыт. Изменение давления p_1 передается в полость *А* пилота и по импульсной трубке *8*— в правую полость исполнительного устройства, седло от-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ходит от затвора, и газ поступает к потребителю. Это приводит к возрастанию давления p_2, которое по импульсным трубкам передается в камеру *Б* пилота, стабилизатор и левую полость (обратной связи) исполнительного устройства. При этом двухмембранный блок *6* пилота со сдвоенными клапанами *7* и *9* может перемещаться за счет различия усилия w задающей пружины и

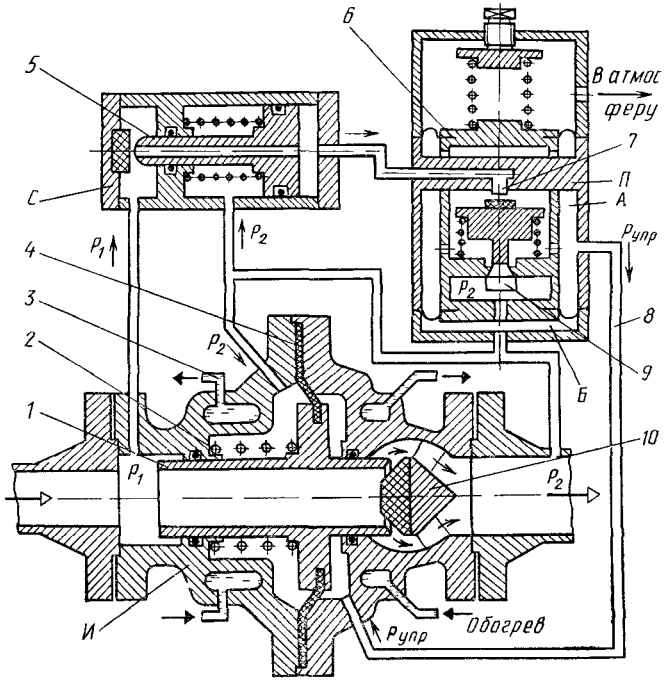


Рис 21 2

равнодействующей давления $\bar{p}_2$ на мембрану. Если $w > \bar{p}_2$, то клапан *7* открыт, *9* закрыт, и газ с давлением p_1 после стабилизатора открывает затвор регулирующего органа, повышая p_2. При увеличении p_2 клапан *7* прикрывается, стабилизируя это давление. В случае $w < \bar{p}_2$ блок *6* перемещается вверх, часть газа через открытый клапан *10* из правой полости сервомотора сбрасывается в выходной трубопровод, а управляющее давление снижается до заданного значения. По этой схеме разработаны регуляторы типа РДУ, рассчитанные на

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

максимальное давление 6,4 МПа и пропускную способность до 60 м³/с.

В настоящее время имеется большое число конструкций регуляторов с различными затворами, приводами, задающими устройствами. К их числу относятся регуляторы прямого действия РД-64, РДПР, РД-32М, РД-50М, непрямого действия РДУК-2, изодромный 04-МСТМ-410,

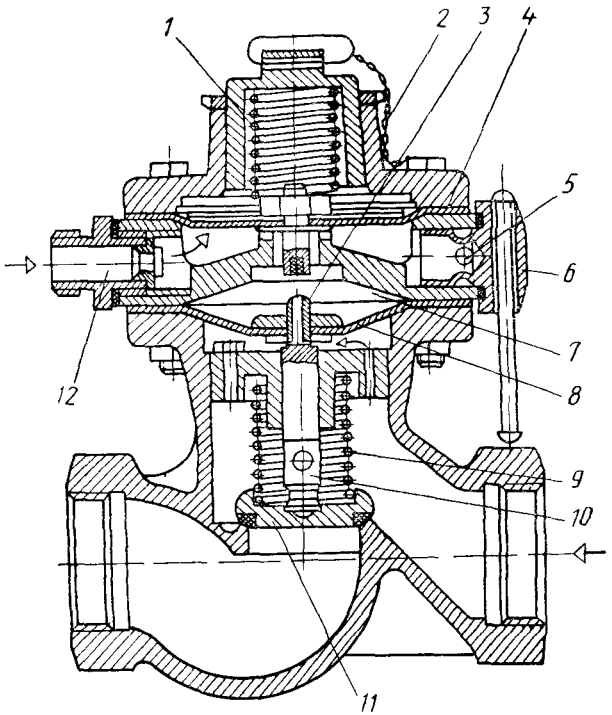


Рис 21 3

РДС. Известны также регуляторы зарубежных фирм «Fisher», «Grouw» (США), «Hübner — Vamag» (Австрия) и др.

Газоиспользующие установки безопасно и надежно функционируют при оснащении устройствами предельного регулирования, к которым относятся автоматические запорные и сбросные клапаны, предохраняющие от чрезмерного повышения или понижения давления. Предохранительные запорные клапаны (ПЗК) прекращают

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

подачу газа к потребителю, предохранительные сбросные (ПСК) стравливают в атмосферу газ при кратковременном повышении давления за регулятором, предваряя срабатывание ПЗК. Последние настраивают на действие при повышении давления на 25%, понижении его до минимально возможного по конструктивной характеристике клапана, превышении на 2...3 МПа (низкое давление) или 20...30 МПа (среднее давление) предела, при котором может произойти проскок пламени или прекращение работы горелок.

Конструктивно ПЗК классифицируют на кинематические, пневматические и электромагнитные. На рис. 21.3 показан пневматический запорный клапан ПКК-40М. Для приведения его в действие немного отвинчивают пусковую пробку *6*, вследствие чего импульсная камера *7* сообщается с атмосферой через отверстие *5* в пробке. При этом поднимается нижняя мембрана *8* вместе со штоком *10* и тарелкой клапана *11*. В этом положении сопло *3* в штоке доходит до упора в уплотнитель *2*, соединенный с верхней мембраной *4*, и поступление газа в камеру *7* прекращается. После этого пробку *6* вворачивают на место, а газ поступает через открытый клапан к потребителю.

В случае достижения выходным давлением предельного значения (задается натягом пружины *1*) импульс подается через штуцер *12* с обратным клапаном под мембрану *4*, которая, поднимаясь, открывает сопло *3*. Мембрана *8* опустится и с помощью пружины *9* закроет затвор клапана. При понижении давления нижняя мембрана с основной пружиной также опускаются и клапан отсекает поток газа.

21.2. Автоматизация газоиспользующих установок

Наряду с котельными крупными потребителями газа являются промышленные печи и сушила, тепличные и животноводческие комплексы, а также бытовые установки — водоподогреватели и плиты. Рациональное сжигание газа дает значительный экономический эффект при применении автоматизированных печей новых типов с использованием передовой технологии производства. В машиностроении это нагревательные и термические печи, вагранки, сушила, технологические режимы которых имеют ряд особенностей, позволяющих получать из-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

делия с определенными свойствами (например, печи периодического и непрерывного действия). В промышленности строительных материалов широко распространены газовые печи для производства керамических изделий, вяжущих веществ, цемента, плавки стекла и т. д. Основными регулируемыми в этих агрегатах величинами являются технологическая температура, разрежение или противодавление, соотношение топливо—воздух, состав среды в рабочей камере. Для термических печей применяют программные регуляторы, нагревательные печи оснащают регуляторами-стабилизаторами температуры. Используются следящие системы для обеспечения соотношения топливо — воздух, причем осуществляется первичное регулирование расхода воздуха с подстройкой расхода топлива. Автоматика безопасности отсекает подачу газа при погасании пламени горелок, нарушении тяги, прекращении дутья, недопустимом отклонении давления газа. Если температура в топке позволяет обеспечить безопасность при погасании пламени, то автоматическую отсечку газа не предусматривают, но с уменьшением разрежения при наличии дымососов или инжекционных горелок подачу газа необходимо прекратить.

Находят применение топочно-очистные устройства (ТОУ) для сушильных камер газового обогрева с утилизацией паров растворителей и продуктов распада лакокрасочных материалов. Автоматизированная однозонная конвективная установка (рис. 21.4) позволяет снизить расход газа на сушку изделий, уменьшить количество вредных выбросов в атмосферу и сделать эксплуатацию более безопасной. Сжигаемый в ТОУ с инжекционными горелками газ поступает в теплообменник *13* и смеситель *14* и вентилятором *15* направляется в сушильную камеру, газовые выбросы забираются вентилятором *16,* подогреваются в теплообменнике и подаются в ТОУ вместо вторичного воздуха.

Для регулирования температуры сушильного агента термопара *ТЕ(3)* с автоматическим потенциометром *1* воздействует на электромагнитный клапан *У2,* установленный на байпасе газовой магистрали. Предельная температура в ТОУ поддерживается термопарой *ТЕ(1)* с регулирующим милливольтметром *2,* а запально-защитное устройство *4* при погасании факела воздействует на клапан *У3* и одновременно блокирует клапан *У1.*

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

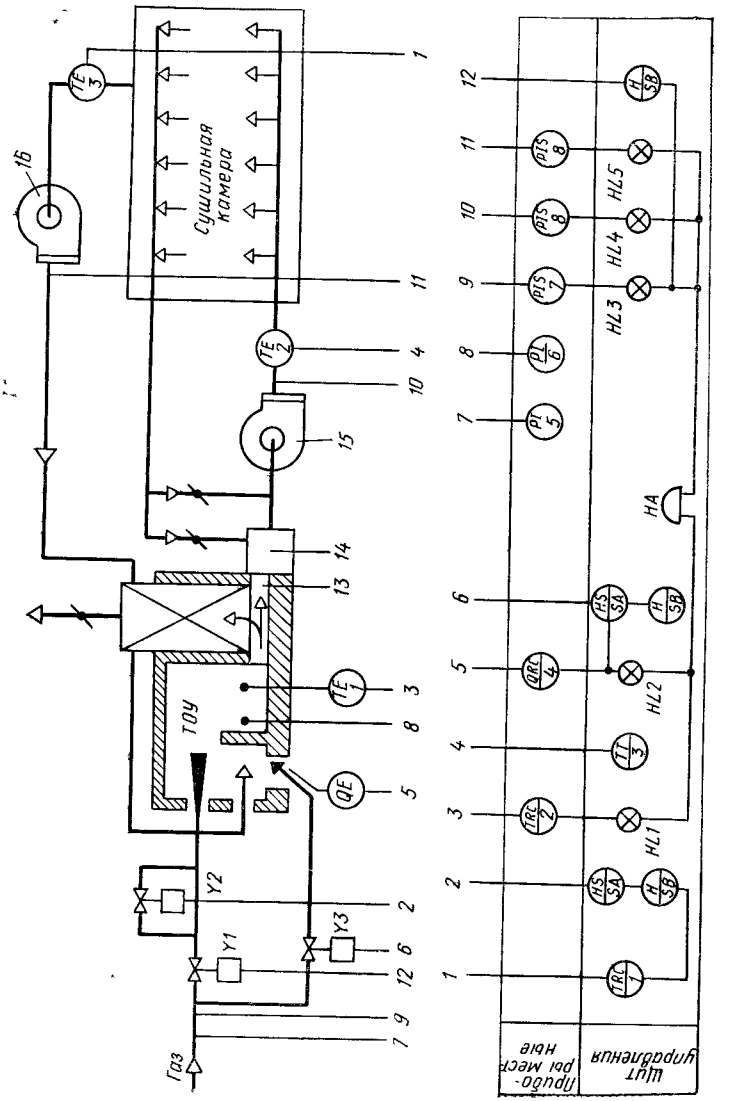


Рис. 21.4

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Контроль за давлением производится с помощью манометра *5* и тягонапоромера *6,* датчики-реле давления *7* и *8* осуществляют сигнализацию и блокировку при недопустимом изменении давления (разрежения) в различных точках газосмесительного тракта.

В бытовых газовых приборах в основном имеет место автоматика безопасности, предотвращающая аварийные ситуации технологического характера (вследствие колебаний давления, изменения состава газа, нарушения тяги и т. п.) и возникающие в результате неправильного обслуживания установок. Долгое время автоматизация таких массовых потребителей газа, как бытовые плиты, была сложной проблемой. Совместными усилиями советских и французских специалистов разработаны автоматические устройства, позволяющие безопасно эксплуатировать газовые плиты с обеспечением заданного температурного режима.

На газовых плитах типа ПГ4-П14 для автоматического управления горелками духового шкафа устанавливается термостатический кран. Он состоит из двух блоков — регулирующего (терморегулятор) и автомата безопасности — термоэлектромагнитного клапана (рис. 21.5). Терморегулятор *А* представляет собой термоманометрический регулятор прямого действия, термосистема которого (блок мембран *8,* капилляр *9* и термобаллон *10)* заполнена термочувствительной жидкостью «армотерм». При повышении температуры в духовке блок мембран перемещает регулирующий клапан *6,* уменьшающий расход сжигаемого газа. Устройство работает на режимах автоматического и ручного регулирования. Рукоятка *3* крана *4* может занимать одно из 10 положений. В первом положении газ поступает к горелке, минуя дросселирующий клапан, через калиброванное отверстие дросселя *5,* обеспечивая минимальную температуру. В других положениях одновременно с включением регулятора поворотом рукоятки настраивают плиту упорным винтом *7* с поджатием мембран на желаемую температуру в духовке.

Термоэлектромагнитный клапан *Б* автоматически отключает подачу газа при случайном погасании пламени горелок. Нажатием на кнопку *2* открывается доступ газа в полость *1* корпуса автомата безопасности и через включенный кран *4* к основной или жарочной горелке. Через 10...30 с после розжига горелок нагреваются тер-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

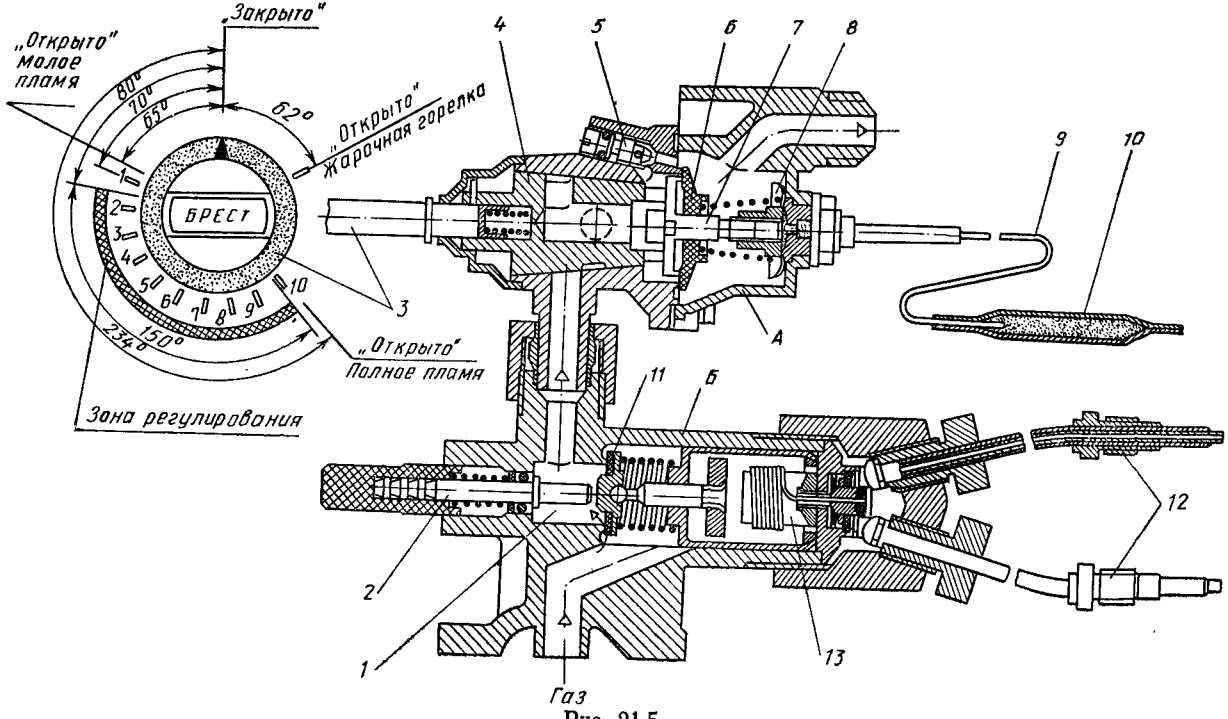


Рис. 21.5

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

мопары ТХК *12*, ЭДС которых (15 мВ) приводит в действие электромагнит *13*, удерживающий якорь уплотнительного клапана *11*. Последний не препятствует проходу газа к горелке. При погасании пламени электромагнит отпускает клапан, и подача газа прекращается. Во время разогрева термопары пусковая кнопка должна быть нажата. При использовании сжиженного газа производится первичная регулировка настроечным винтом дросселя *5*.

С помощью комплекса АРК-БП-1 можно разжигать горелки спиралью накаливания, отключать их при погасании запальника или основной горелки и обеспечивать повторный автоматический розжиг после случайного погасания пламени основной горелки.

21.3. Автоматическая защита подземных трубопроводов от электрохимической коррозии

Защита обеспечивается активными электрическими методами: нейтрализацией (протекторная и катодная) и отводом (дренаж) блуждающих токов или сочетанием этих методов. Впервые эффект нейтрализации наблюдали в XIX в. в судостроении при анализе эксплуатации металлических корпусов в морской воде. Объяснение природы защиты базируется на теории многоэлектродных систем.

Протекторный метод основан на эффекте разрушения постороннего металлического предмета (протектора), образующего электрическую цепь с трубопроводом. Протекторы делают из магния, цинка, алюминия. На ЭДС установки можно влиять погружением протектора в активатор (гипс, глина, мирабилит и др.). Контроль за эффективностью протекторной защиты осуществляется периодическим измерением потенциалов трубопровода.

В станциях катодной защиты (СКЗ) используются источники постоянного тока, например генераторы с приводом от электродвигателя, ветроустановки, двигатели внутреннего сгорания, термоэлектрогенераторы, аккумуляторы и выпрямители (селеновые, германиевые, купроксные) — преобразователи переменного тока в постоянный. Положительный полюс источника с напряжением 1,2...2 В соединяют с анодным заземлением, отрицательный — с трубопроводом. Задача расчета катодной

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

защиты состоит в определении радиуса действия (обычно до 20 км) и мощности СКЗ, а также их числа с целью рационального расположения вдоль трассы. Критериями для определения шага установки СКЗ являются плотность тока и наличие удобных источников питания. При проектировании основной исходной характеристикой является сила тока. Промышленность выпускает серийные СКЗ типа КСС (КСС-150, КСС-300, КСС-600, КСС-1200) с селеновыми и кремниевыми выпрямителями (цифра обозначает мощность выпрямленного тока в ваттах), КСГ-500 и КСГ-1200 — с германиевыми, маломощные ВАК-10 (30 Вт), КП-2 (6 Вт) в виде шкафных установок массой до 100 кг, монтируемых на столбах ЛЭП, стенах зданий или специальных опорах.

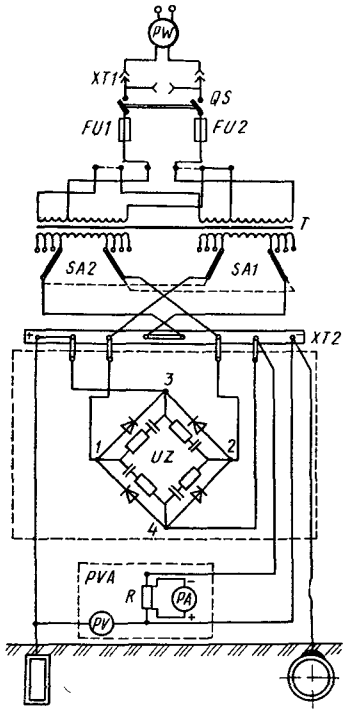


Рис. 21.6

На рис. 21.6 приведена электрическая схема катодной сетевой станции КСС-1200. Устройство состоит из электросчетчика *PW* типа СО-2М, разъемного соединения *XT1* для подключения сетевого питания 220 В, выключателя *QS*, предохранителей *FU*, понижающего трансформатора *T*, переключателей рабочего напряжения *SA*, выпрямительного блока *UZ*, клеммника постоянного тока *XT2*, вольтамперметра *PVA* типа М-4200 для контроля рабочего тока. Трансформатор включает одну первичную, разделенную на две секции, и две вторичные обмотки из семи последовательных секций. Для переключения секций имеются рукоятки грубой и точной регулировки, комбинацией положений которых обеспечивается ступенчатое изменение выходного тока. Схема выпрямительного блока представляет два двухполупериодных моста из кремниевых вентилей типа В, которые переклю-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

чением могут соединяться параллельно или последовательно. Эксплуатация СКЗ не вызывает особых затруднений. Раз в году производится профилактический осмотр, если станции не включены в телемеханический комплекс.

Электрический дренаж, позволяющий отводить блуждающие токи от трубопроводов к их источнику,

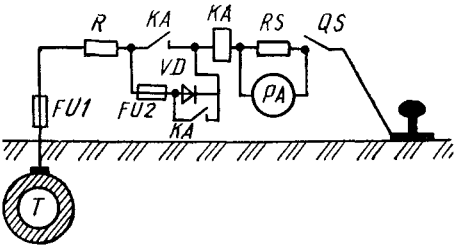


Рис. 21.7

можно рассмотреть на примере универсальной поляризованной дренажной установки УПДУ-57 (рис. 21.7). При положительном потенциале на трубе *T* ток идет через предохранитель *FU1*, резистор *R*, предохранитель *FU2*, катушку контактора *KA*, шунт *RS* и выключатель *QS* к рельсу электротранспорта (при отрицательной разности потенциалов диод *VD* не пропускает ток). При напряжении 1...1,2 В контактор замыкает контакты *KA*, ток течет по дренажной цепи и по ответвлению. Контакты размыкают дренажную цепь при разности потенциалов около 0,1 В. В ответственных случаях применяется комбинация катодной и дренажной защиты.

21.4. Автоматизация при работе с жидкими газами

Повышение эффективности производства в газовых хозяйствах, занимающихся приемом (перемещением), хранением и распределением сжиженных газов (СГ), связано с внедрением средств механизации и автоматизации технологических процессов. Помимо названных основных процессов, на газоприемораздаточных станциях (ГПРС) и кустовых базах сжиженного газа (КБСГ) производится слив газов из баллонов, транспортирование

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

газа (по трубопроводам или в баллонах), ремонт баллонов. Может также осуществляться заправка автомобилей, работающих на СГ, регазификация и смешение паров СГ с воздухом, а также подача паров СГ или газовых смесей в системы потребления. Перемещение жидкой и паровой фазы на станциях и базах осуществляется насосами и компрессорами, хотя может применяться слив гидростатический, с помощью подогрева и взаимного вытеснения.

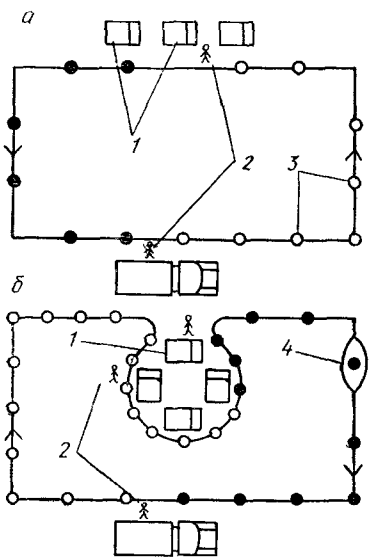


Рис. 21.8

Безопасная работа обеспечивается установкой на оборудовании и трубопроводах автоматической арматуры и КИП. Трубопроводы паровой фазы оборудуются предохранительными пружинными клапанами. Предусматривается контроль уровня жидкого газа в резервуарах, его давления, температуры, наличия газа в воздухе, а также позиционное отключение газовых компрессоров по сигналу о разрежении ниже 0,05 МПа или давлении выше 1,6 МПа с помощью электроконтактных манометров. Для привода задвижек используется дистанционное управление.

Наиболее трудоемкой операцией на ГПРС является заполнение баллонов СГ в наполнительном отделении. Степень автоматизации зависит от оснащения средствами автоматизации и механизации процессов транспортировки, установки и присоединения баллонов к источнику, их взвешивания, отсоединения, проверки утечек газа. Большинство из перечисленных процессов не обходится без вмешательства операторов, т. е. ручного труда.

Примером частичной механизации и автоматизации процесса наполнения баллонов является использование конвейерного метода (рис. 21.8) транспортирования порожних и полных баллонов вдоль автоматических весов *1*. В функции оператора *2* входит снятие баллона *3* с кон-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

вейера, присоединение его быстродействующей струбциной к шлангу и возвращение на конвейер. На рисунке показаны схемы конвейеров с последовательным взвешиванием (рис. 21.8, *а*) и карусельным агрегатом (рис. 21.8, *б*), на которых работают два—четыре оператора. Цикл оборота карусельного агрегата составляет 3...5 мин.

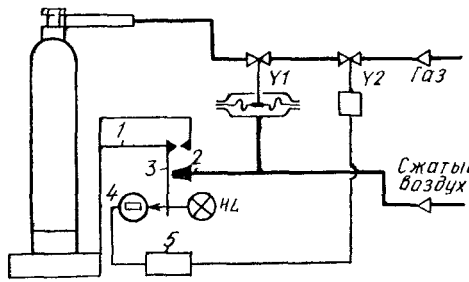


Рис. 21.9

За это время оператор успевает подключить баллон. Отсечка газа производится автоматически, и взвешенный баллон направляется в водяную ванну *4* для проверки на герметичность.

Представляет интерес устройство весов с автоматической отсечкой подачи газа (рис. 21.9) после заполнения баллона до заданной массы. На схеме совмещены пневматическая и электронная автоматика. Управляющим элементом является коромысло весов *1*, на котором размещается заслонка *3* усилителя типа сопло—заслонка. Пока баллон не заполнен, воздух из сопла *2* выходит в атмосферу. Давление в подмембранной полости исполнительного механизма *Y1* минимально, регулирующий орган открыт. При поднятии коромысла заслонка прикрывает сопло и рабочее давление энергоносителя (от компрессора или баллона сжатого воздуха) заставляет *Y1* прекратить подачу газа. Аналогично работает электронная автоматика. Коромысло перекрывает освещение фотоэлемента *4*, который через электронный усилитель *5* закрывает электромагнитный клапан *Y2*. Более совершенными механизмами являются карусельные газонаполнительные агрегаты типа КГА-МГП. В функции оператора входит лишь их настройка на заданный режим (масса СГ и скорость движения) и наблюдение за работой.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Помимо основных технологических процессов, на ГПРС и КБСГ механизируются и автоматизируются вспомогательные процессы, складские работы, ремонтные (очистка, металлизация, мойка, сушка, окраска и гидравлическое испытание баллонов) и погрузочно-разгрузочные операции. Перспективно использование робототехнических устройств.

Глава 22. ТЕЛЕМЕХАНИКА И ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИЯ

Телемеханика охватывает теорию и технические средства преобразования и передачи на расстояние информации для управления производственными процессами. На телемеханические подсистемы возлагаются функции контроля за основными показателями и ходом технологических процессов, управления производственными установками на расстоянии и координации работы установок, являющихся частью автоматизированной системы управления. Использование устройств телемеханики в производственных процессах позволяет увеличить число применяемых инженерных устройств, уменьшить численность обслуживающего персонала, значительно сократить трудовые затраты, повысить качество и надежность работы инженерного оборудования. Обслуживаемыми телемеханическими подсистемами могут быть неподвижные объекты (к ним относятся системы ТГВ) и подвижные, например транспортные средства.

22.1. Основные понятия

В соответствии с выполняемыми функциями в телемеханике существует следующее подразделение на подсистемы:

телеизмерения, которые передают значения измеряемых величин, необходимые оператору, а также для ввода в автоматические устройства или вычислительные машины;

телесигнализации, которые передают сигналы о предельных значениях контролируемых величин, об аварийной ситуации, включении, остановке, реверсировании оборудования и др.

телеуправления, применяемые для включения и от-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ключения оборудования, изменения режима (нагрузки, скорости и т. д.), перевода на стояночный режим.

Часто подсистемы телеизмерения и телесигнализации объединяют в систему телеконтроля.

Теоретической базой телемеханики служит теория информации. Основная модель передачи информации по-

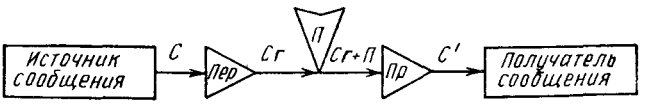


Рис. 22 1

казана на рис. 22.1. Рассмотрим основные понятия теории информации.

Сообщение *С* — сведения о состоянии объекта и передаваемые команды. Информация *И* — сведения, содержащиеся в сообщении, которые не были ранее известны. Сигнал *Сг* — физический процесс (изменение любой физической величины во времени), однозначно соответствующий сообщению. Канал связи *Кс* — совокупность технических средств для передачи сигнала. Линия связи *Лс* — совокупность каналов связи для передачи нескольких сообщений. Помеха (шум) *П* — сообщение, не несущее информации.

Для передачи сообщений может быть использована проводная и беспроводная связь, например телефон, радио (с передатчиками *Пер* и приемниками *Пр*). Очень удобны каналы связи с применением кабелей городской телефонной сети, хотя обеспечение свободной линией связано с известными трудностями.

Цель функционирования системы достигается соответствием сообщений *С*, переданных источником, и *С'*, принятых получателем. Воздействие помех приводит к искажению сообщения. Информация, передаваемая телемеханическими подсистемами, может поступать в виде непрерывных сообщений (обычно изменение физических величин) и дискретных, т. е. прерывистых (открыто — закрыто, пуск — стоп, уровень — выше — ниже и т. д.). Вид сообщения определяет характер сигнала. Например, непрерывному сообщению соответствует непрерывный сигнал, хотя такие сообщения могут быть переданы и в дискретной форме. При этом непрерывную функцию $f(x)$ подвергают квантованию (рис. 22.2, *а*). Ограничиваются

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

передачей значений измеряемой величины, отличающихся шагом квантования Δx ($F(x)$ — квантованная функция), что характеризует квантование по уровню (значению) сигнала. Можно квантовать сигналы во времени, т. е. передавать через определенные интервалы Δt (рис. 22.2, *б*).

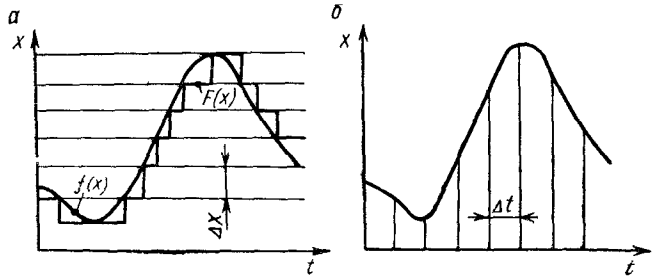


Рис. 22 2

Сигнал характеризуется объемом $V=FTH$, где F — полоса частот; T — время передачи; H — критерий превышения ($H=\log_2(P_с/P_п)$, где $P_с$ и $P_п$ — мощности соответственно сигнала и помех). В качестве параметра непрерывного сигнала обычно выбирают ток или напряжение в канале связи. При повышенных требованиях к стабильности передачи и больших расстояниях параметром сигнала выбирают частоту или длительность. Изменение этих параметров называют частотной или время-импульсной модуляцией.

Для передачи дискретных сигналов их комбинируют в виде электрических импульсов — кодов, т. е. кодируют сообщение. В телемеханике чаще применяются двоичные коды. Процесс превращения сигнала в сообщение называют декодированием.

22.2. Построение схем телемеханики

Общие положения. Структура подсистем телемеханического управления и контроля зависит от расположения объектов. Примером сосредоточенного объекта может служить ТЭЦ со значительным числом подобъектов (котлы, турбины, водоподготовительные устройства, насосы и т. д.), размещенных на относительно небольшой площади. Телеуправление и телеконтроль при этом могут осуществляться с диспетчерского пункта *ДП* по одной ли-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

нии связи *ЛС* с объектами управления и контроля *ОУК* (рис. 22.3, *а*). При рассредоточенных объектах, например, ГТП и МТП в системах централизованного теплоснабжения, ГРС и ГРП в газоснабжении, структурные схемы имеют большое число линий связи, соединяющих пункт управления ПУ или ДП с исполнительными пунк-

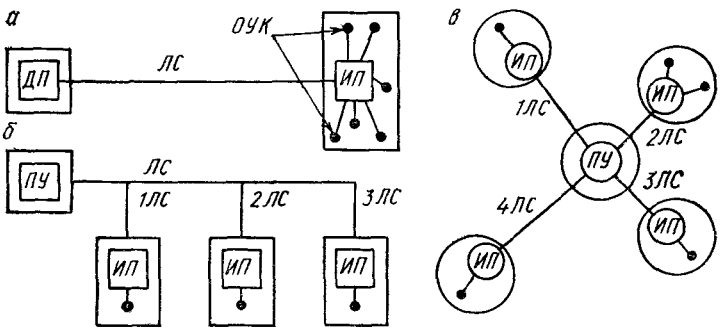


Рис. 22 3

тами *ИП*. На рисунке показаны наиболее распространенные структурные схемы: цепочечная (рис. 22.3, *б*) и радиальная (рис. 22.3, *в*). Древовидная схема является сочетанием этих схем.

Подсистемы телеизмерения. Структура подсистемы телеизмерения представлена блок-схемой на рис. 22.4, *а*. Измеряемый на исполнительном пункте *ИП* параметр x, например давление p, преобразуется датчиком *Д* (сильфон) в перемещение l_1, а затем с помощью передатчика (катушка дифференциально-трансформаторной схемы) *Пер* — в сигнал y_1 (изменение тока). В диспетчерском пункте *ДП* сигнал y_2 поступает на вход приемника *Пр* (катушка), преобразуется в перемещение сердечника l_2, приводящее в действие механическую систему измерительного прибора *П*, формирующего показание x. Рассмотренная блок-схема реализуется в виде телеизмерительных систем тока или напряжения при изменении непрерывных сигналов. Примером может служить известная потенциометрическая система (автоматический потенциометр). Более сложным устройством отличаются системы, в которых используются, например, способы времяимпульсного преобразования сигнала модуляцией, а также частотные преобразователи. В системах с дис-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

кретными сигналами применяются двоичные, двоично-десятичные и рефлексные коды (код Грея). При этом обычно реализуют два способа преобразования: 1) измеряемая величина — угол отклонения прибора — код; 2) измеряемая величина — ток (напряжение) — код.

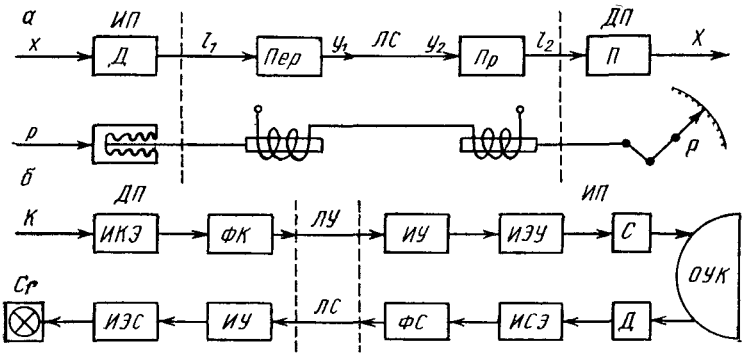


Рис. 22.4

Подсистемы телеуправления и телесигнализации. На рис. 22.4, *б* совмещены блок-схемы подсистем телесигнализации и телеуправления объектом управления и контроля *ОУК*. Командой *К* осуществляется воздействие на индивидуальный командный элемент *ИКЭ*, например кнопку или тумблер, который приводит в действие формирователь сигнала *ФК*, посылающий сигнал в линию связи управления *ЛУ* на исполнительный пункт *ИП*. Поступающий сигнал декодируется избирательным устройством *ИУ*, заставляя сработать индивидуальный элемент управления *ИЭУ*. Последний воздействует на серводвигатель *С* объекта управления, выполняющий нужную операцию (включение, выключение, реверс и т. д.). Контроль за выполнением операций ведется с помощью датчика сигнализации *Д* (например, конечный выключатель регулирующего органа), воздействующий на индивидуальный элемент сигнализации *ИСЭ*. Элемент сигнализации управляет блоком формирования *ФС*, посылающим сигнал по линии сигнализации *ЛС* на диспетчерский пункт. Там сигнал расшифровывается избирательным устройством *ИУ*, которое приводит в действие исполнительный элемент сигнализации *ИЭС*, например реле, включающее соответствующий индикатор (лампу, табло, сирену), формирующий сигнал *Сг*.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

В качестве основных технических устройств телемеханических подсистем используются релейно-контакторные элементы — электромагнитные реле, контакторы, шаговые искатели, магнитные усилители, полупроводниковые приборы и электронные лампы, генераторы импульсов, частотные избиратели и другие функциональные узлы электроавтоматики.

22.3. Телемеханика и диспетчеризация в системах ТГВ

Большой радиус действия систем ТГВ на значительной площади с многочисленными объектами делает целесообразным использование средств телемеханики и диспетчеризации, которые экономически оправдывают себя даже при незначительных расстояниях передачи информации. Диспетчеризация позволяет получить значительный народнохозяйственный эффект. Например, работа отопительных котельных «на замке» дает возможность высвободить до 60% обслуживающего персонала и получить экономию более 1 тыс. руб. в год от каждой котельной.

Ставится задача не только диспетчерского управления отдельными видами инженерного оборудования, но и перехода на следующую ступень — объединенных диспетчерских систем (ОДС). В этом случае с объединенного диспетчерского пункта ведется круглосуточный контроль за едиными диспетчерскими кустами, в которые объединены такие виды инженерного оборудования, как отопительные котельные, ГТП, МТП, бойлерные, насосные, лифты и др. Работа автоматизированной отопительной котельной на газовом топливе без обслуживающего персонала разрешается в том случае, если она связана с диспетчерским пунктом, который объединяет группу котельных. На диспетчерский пункт поступают аварийные сигналы при срабатывании котельной автоматики безопасности (отсечка газа) или ее неисправности, при выходе из строя оборудования или отдельного котлоагрегата. После ликвидации причин аварии оборудование включается вручную персоналом ДП. Поступает также информация о числе работающих котлов, о взрывоопасной концентрации газа в воздухе котельной, о температуре прямой воды и других параметрах.

На рис. 22.5 представлена принципиальная электриче-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ская схема диспетчеризации, разработанная институтом Укржилремпроект для котельных, оборудованных автоматикой АГК-2. Подсистема обеспечивает контроль наличия пламени в запальной горелке, разрежения в топке, давления газа перед горелкой и температуры подаваемой воды. При заданных значениях этих параметров контакты сигнальных реле *К* нормально замкнуты (на рисунке показана обесточенная схема).

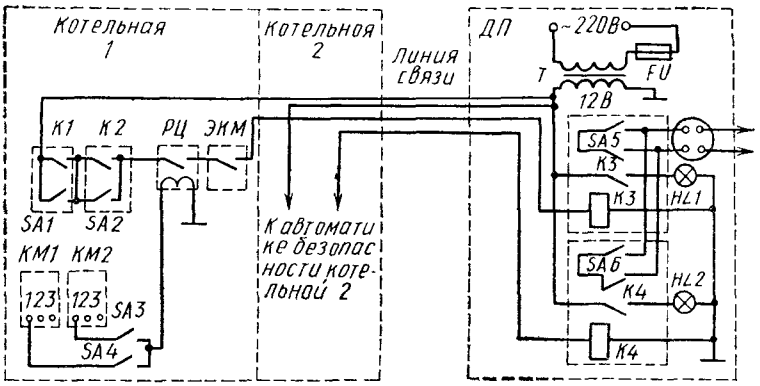


Рис. 22.5

В зависимости от удаленности котельных от ДП по линиям связи идет постоянный ток 12 или 24 В ($l > 300$ м). Давление воды в системе контролируется манометром ЭКМ-1, работа циркуляционных насосов—реле РЦ. Ток от источника питания идет по линии связи, через контакты *К1, К2, РЦ, ЭКМ* и через заземление возвращается на ДП. Через контакты реле *К3* и *К4* подается напряжение на сигнальные лампы *HL1* и *HL2* пульта, которые горят при нормальном режиме. В случае нарушения котлового или общекотельного параметра лампа на пульте *ДП* гаснет, указывая адрес неисправности, и включается звуковой сигнал. Тумблерами *SA5* и *SA6* звуковой сигнал отключается на время устранения неисправности, после чего схема приводится в исходное состояние. Если один из котлов не работает, должен быть замкнут выключатель *SA1* или *SA2* и в соответствующее положение поставлены переключатели *SA3* и *SA4* основного и резервного циркуляционных насосов.

Существенными преимуществами отличается диспет-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

черская система, разработанная на базе АГОК-66 (ЛНИИ АКХ имени К. Д. Памфилова), широко применяемой в отопительных котельных многих городов страны. В системах теплоснабжения районов новой застройки получили распространение отдельно стоящие ГТП, обслуживающие здания, оборудованные МТП. Нормальная работа ГТП может быть обеспечена исходя из следующего оптимального объема диспетчерских операций: контроля за снижением температуры обратной воды из системы отопления, давлением в прямой линии системы отопления, допустимой температурой в подающей линии, температурой и давлением в системах горячего водоснабжения, снижением давления воды в городском водопроводе, работой средств автоматики, а также за линиями связи и аппаратурой диспетчеризации. Перечисленные операции относятся к диспетчеризации ГТП и МТП, но МТП менее насыщен оборудованием и приборами.

Телемеханические подсистемы широко распространены в газоснабжении, например, для телеконтроля работы СКЗ на магистральных газопроводах, газораспределительных сетей и сооружений. В качестве канала связи используют линии электропередачи, информация передается импульсными сигналами. При этом селекция сигналов осуществляется фазоимпульсным способом. Передача сигналов может производиться также по каналу труба — земля с применением выпрямленного тока СКЗ. В АСУ ТП известен телемеханический комплекс РИТМ-1, содержащий центральную и 16 периферийных телеустановок. Комплекс работает стабильно при расстояниях до 30 км (ГТС), 50 км (междугородная связь) и может быть использован для телеизмерения, телесигнализации, телеуправления (теленастройка регуляторов на три значения параметра и отключение предохранительных клапанов) и телевызова в системах теплоснабжения, водоснабжения и канализации. Основным узлом аппаратуры диспетчерского пункта является пульт управления, контроля и сигнализации. Пульты имеют разнообразную конструкцию, удовлетворяющую требованиям эргономики. На них располагаются панели для ламп, ключей, кнопок управления, звуковой сигнализации, имеются устройства переговорной связи, выходы задающих устройств, программных узлов, мнемосхемы технологического оборудования, а в последнее время — дисплеи простейших ЭВМ.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Глава 23. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АВТОМАТИКИ СИСТЕМ ТГВ

Разработка и выпуск ТСА должны определяться народнохозяйственной необходимостью и эффективностью, сложность выявления которой для новой техники зависит от характера взаимосвязи приборостроительной отрасли и отрасли-потребителя ее продукции. Рост масштабов автоматизации, совершенствование ее стратегии требуют тщательного экономически обоснованного выбора объектов, повышения уровня оснащения ТСА.

23.1. Технико-экономическая оценка автоматизации

Целесообразность автоматизации должна быть обоснована расчетами, подтверждающими социально-экономическую эффективность внедрения ТСА. На основе полученных показателей определяют необходимые ТСА, затраты на их изготовление, приобретение, монтаж и эксплуатацию.

Годовой экономический эффект от использования новых средств труда, к которым относят ТСА, определяется по нормативной методике * как $Э=(З_1-З_2)А$, где $З_1$ и $З_2$— приведенные затраты на единицу работы, производимой базовой и новой техникой; $А$ — годовой объем работы с новой техникой; $З=С+Е_нК$; $С$ — себестоимость единицы работы; $Е_н=0{,}15$; $К$ — удельные капитальные вложения. ТСА характеризуются такими техническими показателями, как надежность, чувствительность, точность, быстродействие, производительность, стабильность, и экономическими — экономией на издержках эксплуатации систем, коэффициентом относительной эффективности и сроком окупаемости капитальных вложений $Т$. Последний определяется по снижению затрат на зарплату $Зп$, топливо $Тп$, электроэнергию $Эл$, амортизационные отчисления и ремонт $Ам$: $Т=К/(Зп+Тп+Эл-Ам)\leqslant Т_н$, где $Т_н$— нормативный срок окупаемости, который при нормах амортизации $Н_а=15{,}5...31{,}2$ г. составляет 3...6 лет. Если $Т\leqslant Т_н$, то $Э=Зп+Тп+Эл-Ам-Е_нК$.

---

* Методика определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рацпредложений — М: Экономика, 1977.— 45 с.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Технические и экономические показатели неразрывно связаны, поэтому нахождение области эффективных значений технических показателей ТСА — важнейшая задача экономического анализа. Конкретные методы этого анализа устанавливаются отраслевыми методиками и инструкциями. Например, для систем ТГВ — средств улучшения условий труда социально-экономический эффект оценивают коэффициентом $K_{с-э}=(Э-З)/\varkappa$, где $З$ — приведенные затраты на ТСА; $\varkappa$ — показатель социальной эффективности, зависящий от числа работающих и экспериментального критерия теплового воздействия. При $K_{с-э}\geqslant 0$ подтверждается целесообразность ТСА, при $K_{с-э}<0$ она зависит от экономических возможностей народного хозяйства, причем должно соблюдаться условие $З<Э$. В методических рекомендациях МЗ-15 Сантехпроекта по определению оптимальных объемов автоматизации предлагается делать обоснование из условия $\Delta З_1\geqslant\Delta З_2$, где $\Delta З_1$ ($\Delta З_2$) — уменьшение (увеличение) приведенных затрат по статьям расходов, понижающихся (увеличивающихся) в результате применения ТСА. Экономическое обоснование производится по каждой системе в отдельности.

23.2. Новые направления автоматизации систем ТГВ

Завтрашний день автоматизации отрасли определяется следующими основными факторами: постоянным увеличением мощности (производительности) установок, что оправдывает использование более дорогих ТСА, усложнением технологических процессов с применением более дорогостоящего оборудования и требованием жесткой экономии топливно-энергетических ресурсов.

К числу основных проблем относятся: внедрение систем теплоснабжения от АТЭЦ; разработка и внедрение комплексных методов оптимизации систем, обеспечивающих воздушно-тепловой микроклимат; разработка методов, аппаратов и систем с использованием и аккумуляцией геотермальной, солнечной, ветровой, биологической энергии; внедрение современных систем и агрегатов регенерации и утилизации теплоты и холода; разработка систем ТГВ для специфических климатических условий; подготовка предприятий, технологических процессов к внедрению АСУ и АСУ ТП; внедрение комплексной автоматизации систем теплоснабжения и теплопотребления в

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

крупнейших городах страны; комплексное исследование вопросов защиты атмосферы от загрязнения выбросами и ряд других не менее важных проблем. Их решение связано с изысканием оптимальных методов управления новыми процессами, установками, агрегатами на основе современного системного подхода и перспективных направлений в области автоматизации. К таким направлениям можно отнести развитие микроэлектроники, в частности микропроцессоров и микроЭВМ на основе больших и сверхбольших интегральных схем. При этом резко уменьшаются габариты и стоимость ТСА, возрастает их быстродействие, экономичность управления сложными технологическими процессами, отдельными агрегатами, расширяется сфера их функциональных возможностей. Использование роботов-манипуляторов и адаптивных (приспосабливающихся) роботов — не менее эффективный метод при автоматизации производственных процессов. Необходимо обеспечивать равномерность насыщения ТСА систем теплогазоснабжения и вентиляции, предусматривать оснащение всеми подсистемами автоматизации, а не только защитными и сигнализирующими, как часто бывает на практике.

Одним из эффективных средств управления городскими системами инженерного оборудования и инженерными сетями является создание комплексных диспетчерских служб. При этом существенная роль отводится определению информационных выходов, рационального расположения объектов и структуры организации эксплуатации инженерного оборудования.

Важнейшей проблемой остается модернизация выпускаемых и разработка новых приборов и систем контроля. управления и регулирования с блочно-модульным построением и возможностью диспетчеризации основных функций. Не менее остро стоит проблема технического обслуживания, ремонта и реконструкции АСР в системах ТГВ, имеющих определенную специфику. Таким образом, наибольшая эффективность и качество функционирования ТСА зависят от введения новых, с существенно улучшенными параметрами и эксплуатационными показателями, высоконадежных приборов и систем, принципиального подхода к решению задач автоматизации.

В последнее время появилось множество приборов и устройств, выполненных на микропроцессорной основе, новейших образцов средств вычислительной техники, ро-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ботов, АСУ для различных отраслей народного хозяйства. Например, в НИИтеплоприборе создан регулирующий микропроцессорный контроллер — ремиконт Р-100, заменяющий свыше 50 традиционных регуляторов на объектах энергетики, химии, металлургии, и разрабатываются более совершенные ломиконт и димиконт. КТС ЛИУС-2 (СССР) в локальных АСУ ТП выполняют сбор,

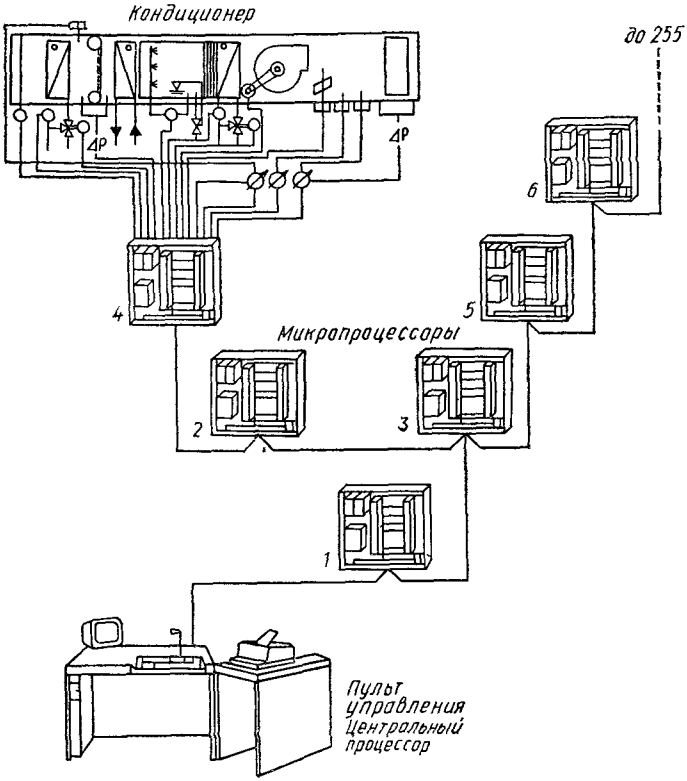


Рис. 23 1

хранение, обработку информации, цифровое регулирование технологических параметров, программно-логическое управление, отображение технологической информации. Управляющая система LS300C фирмы «Siemens» (ФРГ) осуществляет оперативное управление всем инженерным оборудованием многоэтажного здания (рис. 23.1). Комплексы 1КСУ предназначаются для автоматизации водо-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

грейных котлов. Известны индикаторы утечек в трубопроводах фирмы «Metravit» (Франция), установки имитации окружающей среды фирмы «Hereus» (ФРГ), электронные терморегуляторы «Evroterm» (Англия), модульные системы регулирования Дасор и Модин «Kovo» (ЧССР), лазерные счетчики твердых частиц в воздухе «Grimm» (ФРГ) и т. д. Этот небольшой перечень свидетельствует об огромных возможностях автоматизации, о возрастании ее роли, все большем влиянии на самые различные факторы развития человеческого общества.

* *
*

Программой экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года предусматривается поднять уровень автоматизации производства примерно в 2 раза. Будут создаваться комплексно-автоматизированные производства и технологические процессы, которые можно быстро и без больших затрат перестраивать. Для этого приборостроение должно опережающими темпами осуществлять изготовление высоконадежных систем промышленной автоматики на основе средств электроники и микропроцессорной техники.

В целом мероприятия по автоматизации будут способствовать существенному росту производительности общественного труда в целях реализации высшей цели экономической стратегии партии — неуклонного подъема материального и культурного уровня жизни советского народа.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ПРИЛОЖЕНИЕ

1. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ ЭЛЕМЕНТОВ АСР

1. Найти дифференциальное уравнение пневмоклапана (см. рис. 3.5), если входным и выходным импульсами являются давление p и перемещение затвора Y. Площадь мембраны — F, жесткость пружины — k, масса подвижных деталей — m, коэффициент вязкого трения — r.

Условие равновесия

$$f_{\text{и}} + f_{\text{т}} + f_{\text{п}} - f = 0,$$

где $f = pF$ — входное усилие; $f_{\text{и}} = \frac{md^2Y}{dt^2}$, $f_{\text{т}} = \frac{rdY}{dt}$, $f_{\text{п}} = kY$ — соответственно силы инерции, вязкого трения и противодействия пружины.

После подстановки получим

$$m\ddot{Y} + r\dot{Y} + kY = pF$$

или с учетом безразмерных величин $p^* = p/p_{\max}$, $y = Y/Y_{\max}$

$$mY_{\max}\ddot{y} + rY_{\max}\dot{y} + kY_{\max}y = p_{\max}Fp^*.$$

Для равновесного состояния $f = f_{\text{п}}$ и

$$(m/k)\,\ddot{y} + (r/k)\,\dot{y} + y = p^*.$$

Введя динамические постоянные $T_1 = r/k$, $T_2 = \sqrt{m/k}$ при коэффициенте передачи $K = 1$, получим окончательно

$$T_2^2\ddot{y} + T_1\dot{y} + y = p^*,$$

т. е. пневмоклапан является примером колебательного звена при условии $T_1/T_2 < 2$ (см. § 5.2).

В инерционных объектах с малыми скоростями изме-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

нения давления и движения затвора их ускорением можно пренебречь. Тогда пневмоклапан относят к апериодическим звеньям с уравнением $T_1\dot{y}+y=p^*$. При условии $T_1/T_2>2$ дифференциальное уравнение характеризует последовательное соединение двух апериодических звеньев, а при $T_1/T_2=0$ переходный процесс становится периодическим. Из уравнения также следует, что T_1 пропорционально r, т. е. вязкое трение способствует большей устойчивости работы клапана.

2. Найти передаточную функцию теплового объекта — емкостного смесителя (см. рис. 13.4), считая, что: теплоноситель — пар (сухой насыщенный) под давлением p_1 с удельной теплотой парообразования λ; вода и смесь имеют удельную теплоемкость c и температуры θ_1 и θ.

Из уравнения теплового баланса

$$G_2\lambda + G_1c\theta_1 = G_{см}c\theta$$

найдем, что $\theta = \lambda G_2/(G_{см}c) + G_1\theta_1/G_{см}$. Полагая $G_{см}=\text{const}$, оценим статические характеристики объекта $\theta=f(G_1, \theta_1)$ и $\theta = f(G_2)$: $\theta = f(G_2)$ при $c = \text{const}$, $\theta = f(\theta_1)$ при $G_1 = \text{const}$ и $\theta = f(G_1)$ при $\theta_1 = \text{const}$ линейны.

Уравнение теплового баланса в динамическом режиме

$$G_2\lambda dt + G_1c\theta_1 dt = mcd\theta + G_{см}c\theta dt$$

(m — масса жидкости в смесителе).

Считая, что управляющим воздействием является изменение расхода пара ΔG_2, запишем уравнение динамики в отклонениях:

$$\Delta G_2\lambda dt = mcd\Delta\theta + G_{см}c\Delta\theta$$

или

$$\frac{mcd\Delta\theta}{dt} + G_{см}c\Delta\theta = \Delta G_2\lambda.$$

Проведя преобразования, получим уравнение апериодического звена с известной передаточной функцией $W_у(p)= = K_у/(T_p + 1)$:

$$T\Delta\theta + \Delta\theta = K_у\Delta G_2,$$

где $T = m/G_{см}$ — динамическая постоянная; $K_у = \lambda/(G_{см}c)$— коэффициент передачи по каналу управляющего воздействия.

Передаточная функция по каналу возмущения имеет вид $W_в(p) = K_в/(T_p + 1)$, где $K_в = (\theta_1 - \theta)/G_{см}$.

Аналогичным образом можно принять за управляющие воздействия ΔG_1 или $\Delta\theta_1$.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

При вместимости смесителя $V=10$ $м^3$, расходе смеси $G_{см}=1{,}5$ т/ч динамическая постоянная $T=6{,}66$ ч. При $\lambda=2200$ кДж/кг $K_у=1265$ °С·с/кг. Исходя из этого можно определить изменение расхода пара, например, для повышения температуры смеси на 30 °С: $\Delta G_2=\Delta\theta/K_у=$ $=0{,}0237$ кг/с$=85{,}5$ кг/ч. Зная статическую характеристику клапана $h=f(\Delta G_2)$, нетрудно найти соответствующее перемещение его затвора.

Передаточная функция безынерционного смесителя (соединение двух труб в одну) $W_у(p)=K_у$. При измерении температуры θ на расстоянии l от точки смешивания потоков такой объект аппроксимируется безынерционным звеном с запаздыванием $\tau=l/v$ (v — скорость движения смеси) и $W_у(p)=K_у e^{-\tau p}$. Эти результаты использованы при расчете АСР в § 13.2.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ЛИТЕРАТУРА

Основные направления экономического и социального развития СССР на 1986—1990 гг. и на период до 2000 г : Проект.— Мн.: Беларусь, 1985.— 79 с.

Автоматизация РТС / М. А. Емельянов, В. Я. Трембицкий и др.— М.: Стройиздат, 1970.— 160 с.

Богуславский Л. Д. Снижение расхода энергии при работе систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.— М.: Стройиздат, 1982.— 256 с.

Государственная система промышленных приборов и средств автоматизации (ГСП) / Под ред. Г. И. Кавалерова.— М.: ЦНИИТЭИ, 1981.— 392 с.

Давыдов Ю. С., Нефелов С. В. Новые системы автоматизации отопительных устройств.— М : Стройиздат, 1980.— 261 с.

Драчнев В. Г. Диспетчеризация городских систем газоснабжения.— Л : Недра, 1982.— 198 с.

Иващенко Н. Н. Автоматическое регулирование.— М.: Машиностроение, 1973.— 606 с.

Креслиив А. Я. Автоматическое регулирование СКВ.— М : Стройиздат, 1972.— 96 с.

Лабораторный практикум по ТГВ / Под ред. Э. Х. Одельского, О. А. Мухина.— Мн.: Выш. шк, 1973.— 208 с.

Меклер В. Я., Раввии Л. С. Автоматическое регулирование санитарно-технических и вентиляционных систем.— М.: Стройиздат, 1982.— 224 с.

Нефелов С. В., Давыдов Ю. С. Техника автоматического регулнрования в системах вентиляции и кондиционирования воздуха.— М.: Стройиздат, 1984.— 328 с.

Преображенский В. П. Теплотехнические измерения и приборы.— М.: Энергия, 1978 — 704 с.

Проектирование систем автоматизации технологических процессов / А. С. Клюев, Б. В. Глазов и др.— М.: Энергия, 1980.— 512 с.

Рымкевич А. А., Халамейзер М. Б. Управление СКВ.— М.: Машиностроение, 1977.— 274 с.

Сафонов А. П. Автоматизацня систем централизованного теплоснабжения — М : Энергия, 1974.— 272 с.

Скрицкий Л. Г. Основы автоматики и автоматизации систем ТГВ.— М.: Стройиздат, 1968.— 248 с.

Сотников А. Г. Автоматизация систем кондиционирования воздуха и вентиляции.— Л.: Машиностроение, 1984.— 240 с.

Справочник по автоматизации котельных / Л. М. Файерштейн, Л. С. Этинген и др.— М : Энергия, 1972 — 360 с.

Чистович С. А. Автоматическое регулированяе расхода тепла в системах теплоснабжения и отопления.— Л.: Стройиздат, 1975.— 160 с.

Эрриот П. Регулирование производственных процессов.— М.: Энергия, 1967.— 480 с.

Юревич Е. И. Теория автоматического управления.— Л.: Энергия, 1975.— 416 с.

Юрманов Б. Н. Автоматизация систем отопления, вентиляции и КВ.— Л.: Стройиздат, 1976.— 216 с.

Dümmel U. Messen + Regeln in der Heizungs-, Lüftungs- und Sanifärtechnik.— Berlin: VEB Verlag f. Bauwesen, 1983.— 408 S.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Автоколебания 145
Автомат 6
Автоматизация 3, 5
Автоматика 5
— безопасности 229, 271
Автоматическая система регулирования 25, 137
— блокировка 17
— защита 17, 275
— сигнализация 16
Автоматический контроль 16
— регулятор 25, 129
Аккумулирующая способность 34
Алгоритм 15
Амплитудно-фазовая характеристика 43, 56
Амплитудно-частотная характеристика 43, 56
Аспекты автоматизации 10
Астатическая система 138
Астатический объект 36
— регулятор 152

Безразмерная величина 44
Блокировка 17
Блок-схема (элементная) 28
Быстродействие 156

Вероятность исправной работы 166
Воздействие 14
Возмущение 14, 143
Время запаздывания 38
— разгона 45
— регулирования 151
Время-импульсная модуляция 282
Входная переменная 14
Выбор регулятора 162
Выходная переменная 14
Вычислительная техника 7, 10, 33
Вышнеградского критерий 147

Гармоническое возмущение 43, 56, 143
Гибкая обратная связь 157
Гидроусилитель 97
Гистерезис 69
Годограф 148
Граница устойчивости 145
Гурвица критерий 147

Датчик 26
Двухпозиционное регулирование 135
Декодирование 282
Детерминированное состояние 28
Динамическая постоянная 47
— характеристика 42
Дискретное регулирование 134
Диспетчеризация 16, 280
Дроссельный распределительный орган 123

Единичное возмущение (толчок) 42, 143

Жесткая обратная связь 155

Задающее воздействие 28
— устройство 26, 115
Законы управления 152, 159
Замкнутый контур 22, 25
Запаздывание 38
Звено динамическое 51
Золотник 98
Зона нечувствительности 131, 136
— режимная 40

Изображение по Лапласу 54
Изодромный регулятор 156
Импульс 14
Импульсное регулирование 136
Инвариантность 32
Инерционность 39
Интегральная оценка 151
Интенсивность отказа 166
Информация 20, 281
Исполнительное устройство 108

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Канал связи 281
Качественный параметр 18
Качество регулирования 149
Квантование сигнала 282
Класс точности 66
Кодирование 282
Колебательность 151
Количественный параметр 18
Комбинированное управление 33
Контактор 180
Косвенное измерение 64
Коэффициент неравномерности 132
— нечувствительности 131
— передачи 30, 49
— саморегулирования 47
Кривая разгона 42
Критерии устойчивости 146

Магнитный пускатель 180
— усилитель 102
Механизация 11
Микропроцессор 118
Михайлова критерий 148
Многокаскадное усиление 107
Модель математическая 13, 19, 43
Модуляция 282
Мост измерительный 90
Мощность сигнала 97, 282

Надежность 166
Настройка регулятора 165
Нелинейные элементы 135
Непрерывное регулирование 134
Неравномерность 132
Неустойчивый объект 37
Нечувствительность 131

Область устойчивости 147
Обратная связь 23, 35
Объект управления 15
Оператор (человек) 21
Орган управляющий 21
Оригинал 54
Отказ 166
Отклонение установившееся 151

Параметры распределенные 35
Передаточная фуикция 56
Перерегулирование 150
Переходный процесс 143
Пневмоусилитель 101
Погрешность измерения 65
Подсистема 16
Приборы измерительные 64
Принципы управления 31
Программное управление 33
Пропорциональный регулятор 154

Разрешающая способность 69
Реверсирование 177
Регулирование 16, 33
Регулировка 165
Регулируемая среда 35
Регулирующее устройство 26, 122
Регулятор 15, 129
Режим 15
— статический, равновесный 39, 137
— динамический, неустановившийся 41, 137
Реле 103
Робот 13, 290

Самонастраивающаяся система 115
Саморегулирование 35
Связанное регулирование 160
Сельсин 97
Серводвигатель, сервомотор 30, 108
Сигнал 14
Система 5
Следящая система 115
Случайное воздействие 28
Соединение звеньев 59
Соленоид 113
Средства автоматизации 5
Срок окупаемости 288
Стабилизация 26
Статическая система 138
— характеристика 39, 128, 139
Статический объект 36
— регулятор 154
Стационарный режим 20, 39
Стохастическое состояние 28

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Струйный усилитель 99
Ступенчатое воздействие 42
Суммирующее устройство 95
Схема автоматизации 169
— принципиальная 170
— структурная 24

Телемеханика 16, 280
Теория управления 18
Технологическая защита 17, 225
Типовые возмущения 42
Точка рабочая, режимная 40
Точность измерения 65
Транзисторный усилитель 106

Управление 14
Управляемая переменная 15
Управляемость 49
Усилитель 30
Устойчивость регулирования 144

Фотоэлемент 78, 86
Функционирование 11, 26

Характеристика 39
Характеристическое уравнение 144

Цепи электрические 172
Цепочка разомкнутая 22

Частота 43
Частотная характеристика 43
Чувствительность 69

Шаг квантования 282
Шмитта триггер 106
Шум (помехи) 281

Щит управления 169

ЭВМ 8, 117
Экспонента 47
Электромашинный усилитель 102
Электронный — 104
Элемент 14

Якорь электромагнита 104

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3
Введение 5

Раздел I. ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Глава 1. **Общие сведения** 8

1.1. Значение автоматического управления производственными процессами 8
1.2. Условия, аспекты и ступени автоматизации 9
1.3. Особенности автоматизации систем ТГВ 11

Глава 2. **Основные понятии и определении** . . . 12

2.1. Характеристика технологических процессов 13
2.2. Основные определения 14
2.3. Классификация подсистем автоматизации 15

Раздел II. ОСНОВЫ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ

Глава 3. **Физические осиовы управлеиия и структура систем** 18

3.1. Понятие об управлении простыми процессами (объектами) 18
3.2. Сущность процесса управления 21
3.3. Понятие об обратной связи 23
3.4. Автоматический регулятор и структура автоматической системы регулирования 25
3.5. Два способа управления 28
3.6. Основные принципы управления 31

Глава 4. **Объект управлеиии и его свойства** . . . 33

4.1. Аккумулирующая способность объекта 34
4.2. Саморегулирование. Влияние внутренней обратной связи 35
4.3. Запаздываиие 38
4.4. Статические характеристики объекта 39
4.5. Динамический режим объекта 41

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

4.6. Математические модели простейших объектов . . . 43
4.7. Управляемость объектов 49

Глава 5. **Типовые методы исследования АСР и АСУ** 50

5.1. Понятие о звене автоматической системы 50
5.2. Осиовные типовые динамические звенья 52
5.3. Операционный метод в автоматике 53
5.4. Символическая запись уравнений динамики 55
5.5. Структурные схемы. Соеднпение звеньев 58
5.6. Передаточные функции типовых объектов 60

Раздел III. ТЕХНИКА И СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ

Глава 6. **Измерение и коитроль параметров технологических процессов** 63

6.1. Классификация измеряемых величин 63
6.2. Принципы и методы измерения (контроля) . . . 64
6.3. Точность и погрешиости измеренпй 65
6.4. Классификация измерительной аппаратуры и датчиков 67
6 5. Характеристики датчиков 69
6.6. Государственная система промышленных приборов и средств автоматизации 70

Глава 7. **Средства измерения основных параметров в системах ТГВ** 71

7.1. Датчики температуры 72
7.2. Датчики влажности газов (воздуха) 77
7.3. Датчики давления (разрежения) 80
7.4. Датчики расхода 82
7.5. Измерение количества теплоты 84
7.6. Датчикн уровня раздела двух сред 85
7.7. Определение химического состава веществ 87
7.8. Прочие измерения 89
7.9. Основные схемы включения электрических датчиков неэлектрических величин 90
7.10. Суммирующие устройства 94
7.11. Методы передачи сигналов 96

Глава 8. **Усилительно-преобразовательиые устройства** 97

8.1. Гидравлические усилители 97
8.2. Пневматические усилители 101
8.3. Электрические усилители. Реле 102
8.4. Электронные усилители 104
8.5. Многокаскадное усиление 107

Глава 9. **Исполиительиые устройства** 108

9.1. Гидравлические и пневматические исполнительиые устройства 109
9 2. Электрические исполнительные устройства 111

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Глава 10. **Задающие устройства** 114

10.1. Классификация регуляторов по характеру задающего воздействия 114
10.2. Основные виды задающих устройств 115
10.3. АСР и микроЭВМ 117

Глава 11. **Регулирующие органы** 122

11.1. Характеристики распределительных органов . . . 123
11.2. Основные типы распределительных органов 124
11.3. Регулирующие устройства 126
11.4. Статические расчеты элементов регуляторов . . . 127

Глава 12. **Автоматические регуляторы** 129

12.1. Классификация автоматических регуляторов . . . 130
12.2. Основные свойства регуляторов 131
12.3. Регуляторы непрерывного и прерывистого действия . . 133

Глава 13. **Автоматические системы регулирования** . 137

13.1. Статика регулирования 138
13.2. Дивамика регулироваиия 140
13.3. Переходные процессы в АСР 143
13.4. Устойчивость регулирования 144
13.5. Критерии устойчивости 146
13.6. Качество регулирования 149
13.7. Основные законы (алгоритмы) регулирования . . . 152
13.8. Связанное регулирование 160
13.9. Сравнительные характеристики и выбор регулятора . 161
13.10. Параметры настройки регуляторов 164
13.11. Надежность АСР 166

Раздел IV. АВТОМАТИЗАЦИЯ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЯ И ВЕНТИЛЯЦИИ

Глава 14. **Проектирование схем автоматизации, монтаж и эксплуатация устройств автоматики** . . 168

14.1. Основы проектирования схем автоматизации . . . 168
14.2. Монтаж, наладка и эксплуатация средств автоматизации 170

Глава 15. **Автоматическое дистанционное управление электродвигателями** 172

15.1. Принципы релейно-контакториого управления . . . 172
15.2. Управление асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором 174
15.3. Управлеиие электродвигателем с фазным ротором . . 176
15.4. Реверсирование и управление резервными электродвигателями 177
15.5. Аппаратура цепей дистанционного управления . . . 179

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Глава 16. Автоматизации систем теплоснабжения 183

16.1. Основные принципы автоматизации 183
16.2. Автоматизация районных тепловых станций 187
16.3. Автоматизация насосных установок 190
16.4. Автоматизация подпитки тепловых сетей 192
16.5. Автоматизация конденсатных и дренажных устройств . 193
16.6. Автоматическая защита тепловой сети от повышения давления 195
16.7. Автоматизация групповых тепловых пунктов . . . 197

Глава 17. Автоматизация систем теплопотребления 200

17.1 Автоматизация систем горячего водоснабжения . . . 201
17.2. Принципы управления тепловыми режимами зданий . 202
17.3. Автоматизация отпуска теплоты в местных тепловых пунктах 205
17.4. Индивидуальное регулирование теплового режима отапливаемых помещений 213
17.5. Регулирование давления в системах отопления . . . 218

Глава 18. Автоматизация котельных малой мощности 219

18.1. Основные принципы автоматизации котельных . . . 219
18.2. Автоматизация парогенераторов 221
18.3. Технологические защиты котлов 225
18.4. Автоматизация водогрейных котлов 225
18.5. Автоматизация котлов на газовом топливе 228
18.6. Автоматизация топливосжигающих устройств микрокотлов 232
18.7. Автоматизация систем водоподготовки 233
18.8. Автоматизация топливоподготовительных устройств . 235

Глава 19. Автоматизация вентиляционных систем . 237

19.1. Автоматизация вытяжных вентиляционных систем . . 237
19.2. Автоматизация систем аспирации и пневмотранспорта . 240
19.3. Автоматизация аэрационных устройств 241
19.4. Методы регулирования температуры воздуха . . . 243
19.5. Автоматизация приточных вентиляционных систем . . 246
19.6. Автоматизация воздушных завес 250
19.7. Автоматизация воздушного отопления 251

Глава 20. Автоматизация установок искусственного климата 253

20.1. Термодинамические основы автоматизации СКВ . . 253
20.2. Принципы и способы регулирования влажности в СКВ 255
20.3. Автоматизация центральных СКВ 256
20.4. Автоматизация холодильных установок 261
20.5. Автоматизация автономных кондиционеров 264

303

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Глава 21. **Автоматизация систем газоснабжения и газопотребления** 265

21.1. Автоматическое регулирование давления и расхода газа 265
21.2. Автоматизация газоиспользующих установок . . . 270
21.3. Автоматическая защита подземных трубопроводов от электрохимической коррозии 275
21.4. Автоматизация при работе с жидкими газами . . . 277

Глава 22. **Телемеханика и диспетчеризация** . . . 280

22.1. Основные понятия 280
22.2. Построение схем телемеханики 282
22.3. Телемеханика и диспетчеризация в системах ТГВ . . 285

Глава 23. **Перспективы развития автоматики систем ТГВ** 288

23.1. Технико-экономическая оценка автоматизации . . . 288
23.2. Новые направления автоматизации систем ТГВ . . 289

Приложение 293

Литература 296

Предметный указатель 297

Олег Анатольевич Мухин

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЯ И ВЕНТИЛЯЦИИ

Зав. редакцией *В. Г. Самарина*
Редактор *Э. Н. Капрова*
Мл. редакторы *Е. Г. Полойко, Н. В. Валишева*
Обложка и худож. редактирование *И. А. Демковского*
Техн. редактор *И. П. Тихонова*
Корректоры *Н. И. Бондаренко, Р. К. Логинова, Т. К. Скрипкина*

ИБ № 2115

Сдано в набор *05.08.85*. *Подписано в печать* 31.01.86. АТ 13538. Формат 84×108$^{1}/_{32}$. Бумага тнп. № 2. Гарнитура литературная. Высокая печать. Усл. печ. л. 15,96. Усл. кр.-отт. 16,17. Уч.-изд. л. 16,08. Тираж 5000 экз. Зак. 1736. Цена 70 к.

Издательство «Вышэйшая школа» Государственного комитета БССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 220048, Минск, проспект Машерова, 11.

Типография им. Франциска (Георгия) Скорины издательства «Наука и техника». 220600, Минск, Ленинский пр., 68.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/