

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

К. И. ЗУЕВ

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМАМИ ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЯ И ВЕНТИЛЯЦИИ

Учебное пособие



Владимир 2019

УДК 697.3 : 658.5 (075.8)

ББК 31.38я73

3-93

Рецензенты:

Доктор экономических наук, профессор
профессор кафедры управления и информатики
в технических и экономических системах
Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
В. Г. Чернов

Технический директор Владимирской ТЭЦ-2
Владимирского филиала ПАО «Т-плюс»
С. К. Прозоров

Издается по решению редакционно-издательского совета ВлГУ

Зуев, К. И.

3-93 Автоматизация и управление системами теплогазоснабжения и вентиляции : учеб. пособие / К. И. Зуев ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2019. – 171 с. – ISBN 978-5-9984-1029-1.

Составлено на основе учебной программы по дисциплине «Автоматизация и управление системами ТГВ» с описанием теоретических основ теории автоматического регулирования и средств автоматизации. Изложены основы методов контроля и регулирования основных технологических параметров в инженерных системах; рассмотрены принципы действия и конструкции контрольно-измерительных приборов, автоматических регуляторов и управляющих устройств, применяемых при автоматизации систем ТГВ.

Предназначено для бакалавров (магистров) очной и заочной форм обучения направления 08.03.01 (08.03.04) «Строительство» (профиль «Теплогазоснабжение и вентиляция»), обучающихся по дисциплине «Автоматизация и управление системами ТГВ».

Рекомендовано для формирования профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС ВО.

Ил. 66. Табл. 7. Библиогр.: 44 назв.

УДК 697.3 : 658.5 (075.8)

ББК 31.38я73

ISBN 978-5-9984-1029-1

© ВлГУ, 2019

ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе развития систем теплогазоснабжения и вентиляции (ТГВ) невозможно управлять последними без их автоматизации. Высокие скорости потоков и физико-химических превращений, производительность оборудования, большие объемы аппаратов и сооружений, зависимость технико-экономических показателей (ТЭП) от большого числа разнообразных факторов – все это предъявляет повышенные требования к управлению системами ТГВ. Если раньше оператор справлялся с задачами управления, то теперь осуществлять этот процесс стало сложнее из-за ограниченных возможностей человека: утомляемости, субъективности в оценке возникающих ситуаций, низкой скорости реакций и т. п. Поэтому функции управления все в большем объеме передаются автоматическим устройствам.

В современных условиях от строителя-технолога требуются знания не только технологии и оборудования, но и автоматических устройств контроля и управления. Технолог должен «видеть» за показаниями измерительных приборов ход технологического процесса, вмешиваться при необходимости в работу автоматических управляющих устройств и устранять простейшие неисправности в их работе. Все это невозможно сделать без знания основных принципов управления системами ТГВ, особенностей устройства и эксплуатации приборов, регуляторов и других средств автоматизации. Изучение этих вопросов предусмотрено в курсе «Автоматизация и управление системами ТГВ».

Впервые разработки по автоматизации систем ТГВ начали использовать около 60 лет назад. Первые автоматизированные системы управления системами ТГВ появились в странах Западной Европы, США и Японии. С их помощью непрерывно анализируются режимы работы сетей теплоснабжения, насосных и газораспределительных станций, газораспределительных пунктов; вырабатываются необходимые команды управления для поддержания экономически наиболее выгодных технологических режимов.

Геоинформационные технологии постепенно становятся неотъемлемой частью информационного пространства предприятий ТГВ. Геоинформационный подход рассматривается компанией «НЕОЛАНТ» при создании программного комплекса визуализации функционирования Единой системы газоснабжения Российской Федерации (ГИС ЕСГ РФ) для Центрального производственно-диспетчерского департамента (ЦПДД) АО «Газпром» и ООО «Газпром ВНИИГАЗ».

Аналогичные информационно-графические системы разработаны в АО «Мегаполис» («Газпром Газораспределение Владимир», г. Владимир), «ГазГраф» («CityCom», г. Брянск), которые предлагают паспортизацию, расчеты режимов и диспетчеризацию городских газовых сетей высокого, среднего и низкого давления, решение экономических задач.

Аналогичные разработки существуют и в теплоснабжении. НВЦ УНПК МФТИ (г. Долгопрудный) предложена ГИС «ГеоИнфоГрад», включающая геоинформационную систему, компьютерную модель системы теплоснабжения, гидравлический расчет, наладку и регулировку тепловых сетей, разработку схемы теплоснабжения, поставку и внедрение программного обеспечения, консультации по подбору программного обеспечения и наладке тепловых сетей, разработку мероприятий по модернизации тепловых сетей: проектирование и монтаж централизованных тепловых пунктов, индивидуальных тепловых пунктов, узлов учета; диспетчеризацию домовых, квартирных узлов.

Все затронутые выше вопросы отражены в последующих главах настоящего учебного пособия. При выборе структуры и последовательности изложения материала автор руководствовался двумя основными положениями.

Первое: автоматизация любого технологического процесса в ТГВ осуществляется, с одной стороны, на базе глубоких знаний самого процесса, а с другой – на основе принципов построения систем автоматического управления. Второе: предполагая, что учащиеся уже имеют достаточные знания по технологии и аппаратурному оформлению ТГВ, изучение дисциплины целесообразно начинать с общих принципов теории автоматического регулирования и разработки систем автоматизированного управления технологическими процессами.

При написании учебного пособия автор стремился максимально приблизить материал к современному состоянию проблемы. При этом математические выкладки были ограничены рамками программы по высшей математике. Автор старался просто и доступно, без громоздкого математического аппарата изложить основные положения таких сложных вопросов, как автоматический контроль и управление.

Библиографический список в помощь учащимся разбит на два раздела: основной [1 – 5] и дополнительный [6 – 44]. В нем студенты могут найти подробный материал по организации и развитию систем автоматизации и управления системами теплогазоснабжения и вентиляции.

ГЛАВА 1

ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

1.1. Основные понятия теории управления

В широком смысле под **автоматизацией** понимают применение технических средств и систем управления, частично или полностью освобождающих человека от непосредственного участия в процессах получения, преобразования, передачи или использования энергии, материалов или информации. Цель автоматизации – повышение производительности и эффективности труда, улучшение качества продукции, замена труда человека в условиях, опасных для здоровья.

Под **управлением** в технических системах понимают совокупность действий (работа, исполнение командных сигналов), выбранных на основе определенной информации и направленных на поддержание заданных параметров производственного процесса и заданных режимов эксплуатации технологического оборудования, направленных на улучшение функционирования технологического объекта в соответствии с имеющейся программой или целью оптимального функционирования его по заданному критерию.

В приведенных определениях содержатся два дополнительных понятия – система и процесс.

Система – это целенаправленная совокупность элементов, взаимодействующих между собой в достижении заданного полезного результата. Существует много определений этого термина ввиду огромного многообразия существующих систем (система уравнений, солнечная система, системы питания, транспорта, образования, вычисления и др.). Рекомендуется каждый раз использовать то определение, которое наиболее близко к изучаемым объектам.

Под **производственным процессом** понимают временную последовательность в системе ТГВ (СТГВ), при которой происходят перемещение / преобразование вещества / энергии / информации. Практически все современные производственные процессы в СТГВ должны выполняться в соответствии с определенными инструкциями, строительными нормами и правилами (СНиП).

Под **технологическим процессом** понимают такую обработку воды и полуфабрикатов (промежуточных потоков, осадков), которая приводит к изменению их физических и химических свойств и превращению в конечную продукцию. Иными словами, технологический процесс в ТГВ – это совокупность механических, физико-химических, биологических и других процессов.

Любой технологический процесс характеризуется определенными технологическими параметрами, которые могут изменяться во времени. В ТГВ такими параметрами являются расходы материальных и энергетических потоков, химический состав воды, газа, температура, давление, уровень в емкостях и др. Совокупность технологических параметров, полностью характеризующих конкретный технологический процесс и имеющих конкретные технологические значения, называется **технологическим режимом**.

Обобщенная схема технологического процесса показана на рис. 1.1. Функция управления представлена как соотношение между входами и теми преобразованиями, которые необходимы для получения целевой продукции. Выполнение требований, предъявляемых к технологическому процессу, возможно лишь при целенаправленном воздействии на его технологический режим.

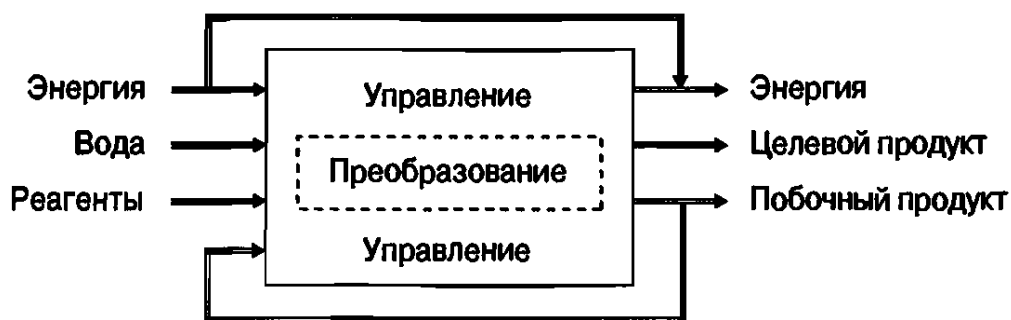


Рис. 1.1. Обобщенная схема технологического процесса

Любой технологический процесс в ТГВ подвержен действию различных факторов, которые нельзя предусмотреть заранее. Такие факторы называются **возмущениями**. К ним относятся, например, случайные изменения состава обрабатываемой воды, температуры, колебания напряжения в электрической сети, характеристик оборудования и др. Возмущающие воздействия на технологический процесс вызывают изменения технологического режима, что, в свою очередь,

приводит к изменению таких технико-экономических показателей (ТЭП) процесса, как производительность, качество обработки, расход воды и энергии и т. п. Поэтому для обеспечения требуемых (заданных) ТЭП необходимо компенсировать колебания технологического режима, вызванные действием возмущений. Такое целенаправленное воздействие на технологический процесс представляет собой **процесс управления**. Совокупность требований к оптимальному функционированию объекта (критерий управления) и ограничений, накладываемых на параметры технологического процесса, осуществляемых в процессе управления, называется **целью управления**. Наконец, сам управляемый технологический процесс вместе с оборудованием, в котором он реализуется и осуществляется регулирование технологических параметров, является **объектом управления**. Объект управления и устройства, необходимые для осуществления процесса управления, называются **системой управления**. Таким образом, система управления – это совокупность технологического процесса, оборудования, средств контроля и управления.

1.2. Иерархия управления системами ТГВ

Современные СТГВ весьма сложны и характеризуются большим числом технологических параметров, прямо или косвенно влияющих на их технико-экономические показатели. На разных уровнях выбираются свои критерии оптимальности регулирования и управления.

Иерархический принцип управления заключается в многоступенчатой организации процесса управления, где каждая ступень имеет свои объекты и цели управления. Рассмотрим сущность этого принципа управления технологическим процессом. Чаще всего целью управления является достижение заданных ТЭП процесса, которые зависят от технологического режима. Режим, при котором достигаются заданные показатели при существующих ограничениях на различные технологические параметры, называется оптимальным. Но, как было сказано ранее, технологический режим изменяется под действием случайных возмущений и поэтому может существенно отклоняться от оптимального. Поскольку эти отклонения всегда ухудшают технико-экономические показатели, необходимо поддерживать технологические параметры процесса как можно ближе к их оптимальным значениям.

При подобной организации процесса управления найденные на верхней ступени оптимальные значения технологических параметров можно рассматривать как «руководящие указания» для нижней, т. е. в общем процессе управления нижняя ступень подчинена верхней. Поэтому такие ступени обычно называют иерархическими уровнями управления. Иерархическая система управления представлена на рис. 1.2.

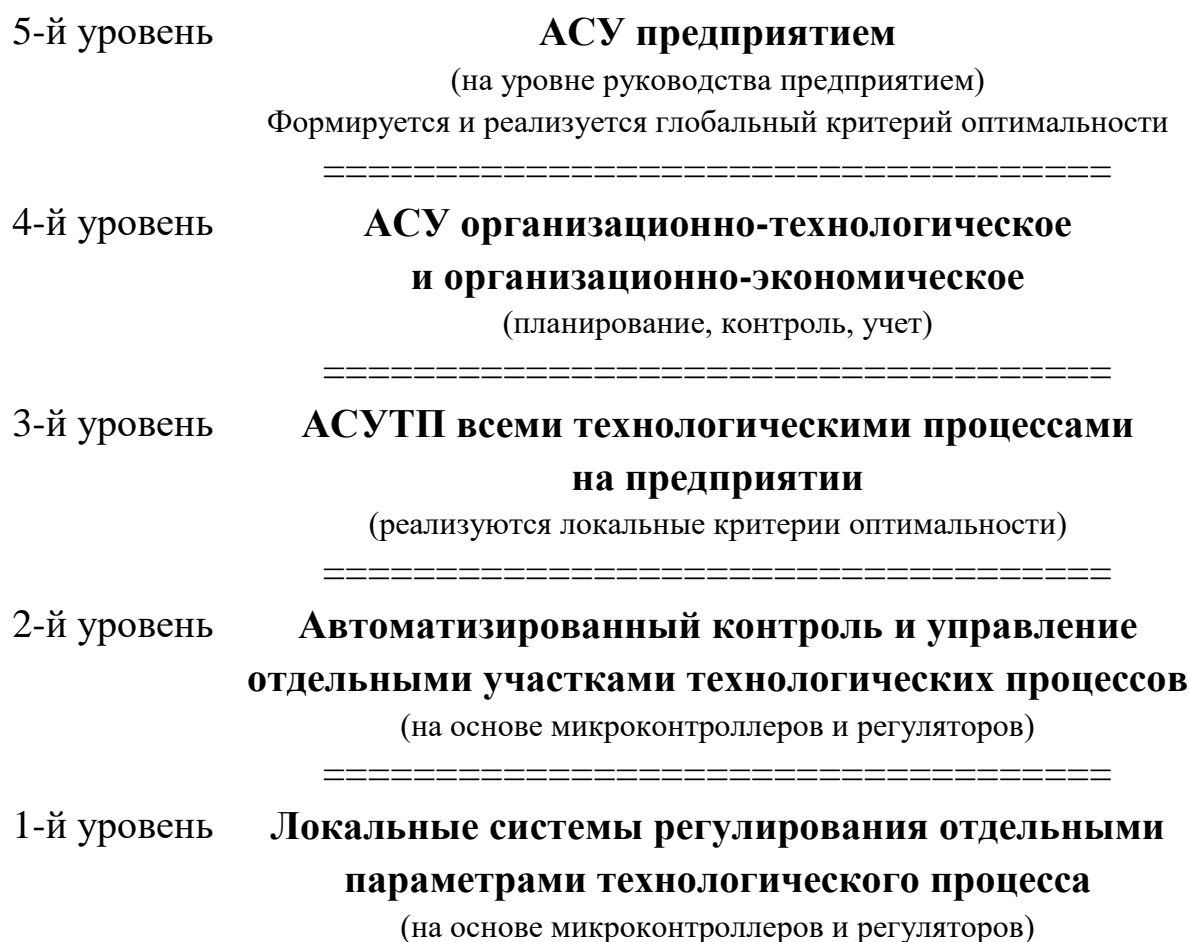


Рис. 1.2. Иерархия управления предприятием

На первом уровне реализуются подсистемы, обеспечивающие заданные значения параметров участков технологического процесса. Например, поддержание заданных значений расхода воды, газа, воздуха и т. д. Эта цель достигается относительно легко и заключается в **стабилизации технологических параметров**. В этом случае часто вместо термина «управление» применяют термин «**регулирование**». Такие задачи решаются автоматическими устройствами без участия человека, поэтому системы нижнего иерархического уровня называ-

ются **автоматическими системами регулирования (АСР)**. Объекты регулирования на этом уровне – элементарные процессы с соответствующим технологическим оборудованием.

Следующий второй уровень образует системы управления участками технологических процессов. Объектами управления на этом уровне являются технологические установки или участки вместе с оборудованием и локальными АСР. Здесь решаются задачи с локальными критериями оптимизации технологических режимов процессов на основе микроконтроллеров и регуляторов.

На третьем уровне решаются задачи управления технологическими процессами в целом на основе локальных критериев оптимизации. Технологических процессов на предприятии может быть несколько. На этом уровне и происходит управление каждым технологическим процессом по своему критерию оптимальности. Такие системы управления получили название **автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП)**.

Результаты работы АСУТП оцениваются в отделах предприятия, реализующих **организационно-технологическое и организационно-экономическое управление предприятием** на четвертом уровне. Они формируют информационную базу для пятого уровня.

Определяющие решения по эффективности работы предприятия на основе глобального критерия оптимальности производятся на пятом уровне – на уровне генерального директора, его заместителей, главного инженера, главного технолога, главного бухгалтера, главного экономиста, начальника отдела эксплуатации и т. д. На этом уровне намечаются перспективы развития предприятия, рентабельность его работы, оценка эффективности работы АСУТП и другие важные для предприятия вопросы. Система этого уровня получила название **автоматизированной системы управления предприятием (АСУП)**.

1.3. Основные понятия регулирования

Все процессы управления, в том числе и регулирования, имеют общие закономерности, не зависящие от конкретных объектов и целей управления.

В АСР процесс управления осуществляется автоматически. Так, регулировать уровень в емкости можно с помощью АСР, показанной на рис. 1.3. В этой системе поплавков перемещается вместе с уровнем, а клапан изменяет расход жидкости на притоке. Поплавок связан с клапаном через рычаг и шток. В такой АСР любое отклонение уровня от заданного вызвано колебаниями стока, что приводит к перемещению поплавка и связанного с ним клапана. При отклонении уровня выше заданного клапан будет прикрываться, а при отклонении ниже заданного, наоборот, приоткрываться. Таким образом, в этой системе все указанные составляющие процесса регулирования выполняются автоматически: при отклонении уровня от заданного значения поплавок отклоняет рычаг, а перемещение штока изменяет степень открытия клапана и приводит тем самым к требуемому изменению притока.

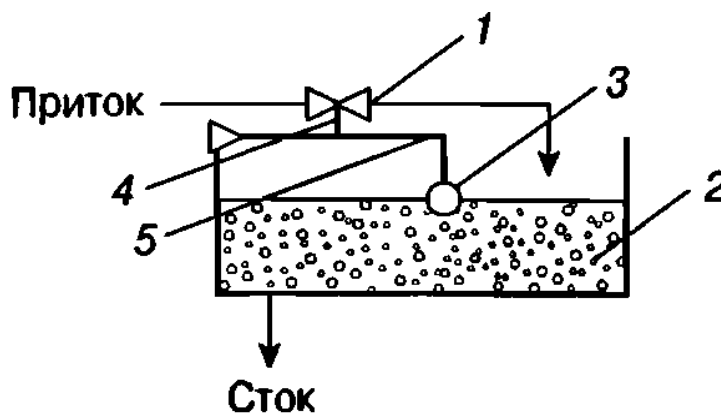


Рис. 1.3. Автоматическое регулирование уровня с притоком и стоком жидкости: 1 – клапан; 2 – емкость; 3 – поплавок; 4 – шток; 5 – рычаг

Из приведенных примеров видно, что для управления любой СТГВ необходимо получить информацию о заданном и фактическом ее состоянии, определить отклонение фактического состояния от заданного, на основе этого выработать целенаправленное воздействие на объект и осуществить его для соответствия измеренного значения состояния СТГВ заданному значению.

Несмотря на большое разнообразие встречающихся в СТГВ объектов, отмеченный общий характер процессов управления не зависит от природы объектов и технических средств управления. Так, рассмотренные выше системы регулирования уровня и температуры, как и все другие АСР, носят в принципе одинаковый характер. Это позволяет изучать закономерности управления в общем виде независимо от природы объектов и протекающих в них технологических процессов. Такие общие закономерности изучает **теория автоматического управления (ТАУ)**. Рассмотрим ее основные термины и понятия.

Как уже отмечалось, любой процесс управления складывается из пяти основных действий, которые в АСР выполняют технические устройства. Устройство для получения информации о состоянии объекта управления называется **измерительным**, или **датчиком** значения параметра. Устройство, определяющее отклонение измеренного значения параметра от заданного, называется **сумматором**. Он производит алгебраическое суммирование (вычитание) измеренного значения из заданного. Устройство, вырабатывающее воздействие на объект, называется **регулятором**. Для передачи этого воздействия на объект служит **регулирующий орган**, для перемещения которого применяется отдельное устройство – **исполнительный механизм**. Все эти устройства, а также объект управления следует рассматривать как элементы АСР (в ряде систем некоторые из устройств могут быть совмещены, например, сумматор может быть частью регулятора, а исполнительный механизм объединен с регулирующим органом). Так, в примере, приведенном на рис. 1.4, объектом регулирования уровня служит емкость с притоком и стоком; измерительным устройством – поплавков; рычаг выполняет роль сумматора и регулятора, а клапан – регулирующего органа.

Из структурной схемы этой АСР (см. рис. 1.4) видно, что все ее элементы связаны между собой и воздействуют друг на друга: измерительное устройство воздействует через сумматор на регулятор; регулятор – на регулирующий орган; регулирующий орган – на объект регулирования.



Рис. 1.4. Структурная схема АСР уровня в емкости

Воздействия передаются от одного элемента к другому посредством **сигналов**, физическая природа которых может быть различной: механической, пневматической, электрической. Так, в АСР уровня использована механическая связь регулятора с измерительным устройством и регулирующим органом. Общее свойство всех сигналов – передача воздействия от одного элемента системы к другому. Например, в АСР уровня регулирующий орган воздействует на объект изменением притока, а сигналом служит расход жидкости на притоке. При этом передача воздействия всегда происходит в одном направлении – от предыдущего элемента к последующему. С учетом направленности в каждом элементе АСР различают **входные** и **выходные** сигналы. Выходной сигнал – это реакция элемента на входной, т. е. выход элемента всегда зависит от входа.

Элемент АСР может иметь несколько входных и выходных сигналов. Например, для регулирующего органа в АСР уровня входной сигнал – степень открытия клапана, а выходной – расход жидкости через него. Для емкости (объекта регулирования) входные сигналы – это расходы на притоке и стоке, а выходной сигнал – уровень жидкости. Особое место среди элементов АСР занимает объект регулирования, поскольку характер преобразования в нем сигналов предопределен назначением объекта и соответственно сигналы не могут быть изменены. Например, назначение емкости с притоком и стоком – создание запаса жидкости, поэтому в АСР уровня объект рассматривается как элемент с заранее заданными свойствами. Свойства же всех других элементов системы и способы их соединения между собой можно изменять.

Управлять объектом – значит управлять его выходными сигналами, в частности стабилизировать их. Стабилизируемые параметры объекта называются **управляемыми (регулируемыми) параметрами**. В СТГВ типовыми управляемыми параметрами будут уровень, давление, расход, температура, плотность, концентрация. Заданное значение параметра при его стабилизации называется просто **заданием**, а разность между заданным и измеренным значениями – **рассогласованием**, которое характеризует качество стабилизации.

Для воздействия на выходные сигналы целенаправленно изменяют входные сигналы, которые получили название **управляющих (регулирующих) параметров**, а их целенаправленное изменение –

управляющим (регулирующим) воздействием. Так, регулируемым параметром емкости является уровень жидкости, а регулирующим – расход на притоке. Наиболее распространенными управляющими параметрами в СТГВ можно назвать расходы веществ (газа, жидкостей, паров и др.) и энергии (тепловой, электрической, гидравлической и т. п.).

Реальные объекты всегда подвергаются действию возмущений, которые нарушают нормальный технологический режим в СТГВ.

1.4. Виды автоматических систем регулирования

Как уже отмечалось, отклонение фактического технологического режима от заданного происходит под действием возмущений, для компенсации которых предназначены АСР технологических параметров.

Процесс регулирования в АСР может осуществляться двумя способами или их комбинацией. В основе первого способа лежит идея компенсации возмущений на входе объекта, поэтому он и получил название **способа регулирования по возмущению**. Структурная схема такой АСР приведена на рис. 1.5, а. В этой системе регулируемый параметр Y изменяется в зависимости от возмущения Z таким образом, что регулирующее воздействие компенсирует действие возмущений на объект. Например, этим способом можно стабилизировать уровень в емкости, для чего расход жидкости на притоке следует поддерживать равным ее расходу на стоке. В этом случае возмущающее действие колебаний стока будет устраняться и уровень не изменится.

В СТГВ системы регулирования по возмущению, которые иногда называют **разомкнутыми**, применяют крайне редко. Это связано с тем, что в таких АСР нет контроля за рассогласованием, и поэтому оно может бесконтрольно увеличиваться под действием неучтенных возмущений. Кроме этого необходима аналитическая связь между выходным параметром и возмущающим воздействием, т. е. адекватная математическая модель связи, что является трудной задачей. Так, отклонение уровня в емкости от заданного с течением времени может возрасти вследствие неточного измерения расхода, испарения жидкости с поверхности и т. д. В то же время регулирование по возмуще-

нию позволяет устранить возмущающие воздействия на входе объекта до возникновения рассогласования, что является достоинством этого способа регулирования.

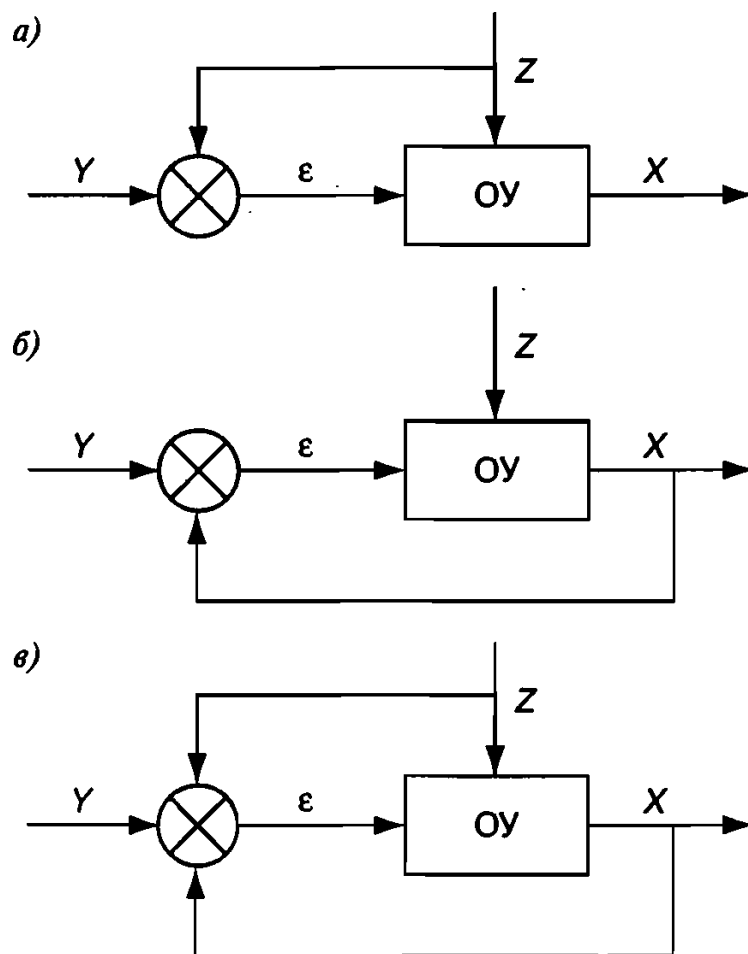


Рис. 1.5. Схемы регулирования: а – по возмущению; б – по отклонению; в – комбинированная

Сущность второго способа регулирования состоит в том, что регулирующий параметр изменяют в зависимости от отклонения регулируемого параметра от задания. По этому способу, названному **регулированием по отклонению**, при любом рассогласовании, вызванном возмущающими воздействиями, регулирующее воздействие всегда стремится уменьшить рассогласование.

Регулирование по отклонению иллюстрируется схемой (рис. 1.5, б), в соответствии с которой регулируемая величина X сравнивается с заданным значением Y : разность величин $\epsilon = Y - X$ после усиления воздействует на объект регулирования ОУ. Величина ϵ , называемая от-

клонением, или ошибкой АСР, должна быть мала. Тогда между регулируемой величиной X и ее заданным значением Y устанавливается вполне определенное соответствие: изменение величины Y сопровождается соответствующим изменением регулируемой величины X . Из схемы видно, что сигналы в АСР проходят по замкнутому контуру: от регулятора на вход объекта – в прямом направлении, а с выхода – в обратном. Такая связь, называемая **обратной**, замыкает выход (регулируемый параметр) с ее входом (заданием), и поэтому АСР с обратной связью является **замкнутой**. В таких системах регулирующее воздействие – реакция на рассогласование, возникающая после появления рассогласования, что является серьезным недостатком способа регулирования по отклонению. В то же время регулирование по обратной связи уменьшает возникающее рассогласование и тем самым компенсирует результат действия возмущений (но не сами возмущения). При таком регулировании не требуется информации об источнике, характере и величине возмущений. Благодаря этому важному свойству обратной связи можно управлять любыми реальными процессами в СТГВ при неизвестных возмущениях, т. е. АСР по отклонению имеет большое преимущество перед АСР по возмущению.

Возможно одновременное применение способов регулирования по отклонению и возмущению. Схема такой **комбинированной** АСР (рис. 1.5, в) отличается от АСР по отклонению тем, что в регулятор кроме сигнала рассогласования вводится значение возмущения Z . В этой системе основные возмущения также компенсируются регулирующим воздействием. Рассогласование же возникает под действием оставшихся возмущений, а также ошибок измерения и неточной компенсации основных возмущений. Поэтому в комбинированной АСР рассогласование будет меньше, чем в АСР по отклонению, и такие АСР обеспечивают большую точность регулирования, но они более сложны.

Сравнивая описанные способы регулирования, можно сделать следующие выводы. Регулирование по возмущению в принципе может полностью устранить рассогласование, т. е. сделать АСР нечувствительной к возмущениям. Однако для этого требуются идеально точное измерение и компенсация всех возмущений, что практически невозможно. Поэтому такой способ применяется обычно как дополнение к регулированию по отклонению в комбинированных АСР для улучшения их свойств. Для регулирования по отклонению не требу-

ется информация о возмущениях, поэтому такой способ легко реализуется на практике с помощью обратной связи. Но в этом случае рассогласование не может быть устранено полностью, ибо регулирующее воздействие на объект осуществляется лишь после возникновения рассогласования, т. е. как бы запаздывает во времени.

Если бы можно было заранее предвидеть возмущения и реакцию на них объекта, то стало бы возможным формирование регулирующего воздействия с необходимым предварением, чтобы не допустить рассогласования. Оказывается, о будущем поведении объекта можно судить по скорости изменения рассогласования. Если в каждый момент времени измеряется не только само рассогласование, но и скорость его изменения, то можно рассчитать рассогласование в следующий момент. Тогда на вход регулятора подается не текущее, а предсказанное рассогласование, в результате чего регулирующее воздействие производится с необходимым предварением, что уменьшает рассогласование. Системы, использующие эффект предсказания, называются **АСР с предварением**.

АСР классифицируют не только по способу регулирования, но и по характеру сигналов регулирующего воздействия и сигналов задания. По характеру сигналов регулирующего воздействия различают непрерывные и дискретные АСР. В **непрерывных** регулирующее воздействие изменяется непрерывно, в **дискретных** – скачками: либо в определенные моменты времени (дискретность во времени), либо только на определенное значение (дискретность по значению). В первом случае АСР называется **импульсной**, во втором – **релейной**. Импульсные АСР обычно применяют, когда регулируемый параметр измеряется дискретно во времени (например, измерение концентрации компонента в природных и сточных водах путем периодического отбора проб на анализ). В этом случае регулирующий параметр обычно изменяется также дискретно.

В релейных АСР регулируемый параметр может принимать лишь несколько возможных значений. Системы с двумя значениями называются **двухпозиционными**, с тремя – **трехпозиционными**. Например, при регулировании температуры в метантенках регулирующий параметр имеет два значения – электромагнитный клапан на паропроводе либо «открыт», либо «закрыт».

Задание в АСР может быть постоянной величиной или изменяться во времени. В соответствии с этим АСР делятся на стабилизирующие, программные и следящие. В **стабилизирующих** АСР задание является постоянной величиной, в **программных** – изменяется по определенному, заранее заданному закону, в **следящих** – произвольно. Примером стабилизирующей АСР может служить система регулирования температуры, которая должна изменяться по определенному закону. Пример следящей АСР – система регулирования расхода воздуха, подаваемого в форсунку для сжигания метана, образующегося при анаэробном сбраживании осадков сточных вод. Для обеспечения оптимального режима горения задание на расход этого воздуха изменяют пропорционально расходу метана.

Мы рассмотрели АСР, в которых один регулируемый и один регулирующий параметр. В замкнутых АСР они связаны в один контур, образованный прямой и обратной связями, поэтому такие АСР называют одноконтурными, или односвязными. С помощью односвязных АСР не всегда можно достичь требуемого качества управления, поскольку они не учитывают влияния друг на друга параметров различных АСР. Поэтому применяют так называемое **связанное регулирование**, которое осуществляется **многоконтурными** АСР. Эти системы представляют собой совокупность одноконтурных АСР, связанных между собой дополнительными перекрестными сигналами.

1.5. Вопросы и задания для самопроверки

1. Дайте определение процесса управления.
2. В чем назначение систем управления на каждом уровне иерархии?
3. Опишите назначение каждого элемента структурной схемы АСР.
4. Перечислите виды АСР по способу регулирования.
5. Как классифицируются АСР по характеру сигналов регулирующего воздействия?

ГЛАВА 2

АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Приборы по измерению давлений, расхода, уровня, температуры, качественных параметров воды полно освещены в [4] и изучались в курсе дисциплин «Гидравлика» или «Механика жидкости и газа» (см., например, [10]). Далее приводится описание приборов, которые не упоминаются в указанных курсах.

2.1. Тепловизоры в системах ТГВ

Своевременное обнаружение источников потерь энергии устраняет причину непредвиденных расходов на ремонт энергооборудования, что достигается устройствами теплового контроля – тепловизорами.

Тепловизионное обследование недорого и безопасно в отличие от привычных видимых изображений, получаемых в основном за счет отраженного или проходящего света. Тепловые изображения создаются благодаря смещению максимумов спектров собственного излучения тел при их нагревании в коротковолновую область. Изменение эффективной температуры поверхности тела в определенной мере соответствует деталям визуально наблюдаемой картины, поэтому создаваемый тепловизором видимый аналог теплового изображения в псевдоцветах может иметь внешнее сходство с наблюдаемым объектом. Тепловизионный контроль может осуществляться двумя методами: пассивным и активным. Пассивный метод заключается в использовании естественного тепла, выделяющегося в процессе производства или эксплуатации объекта контроля и наблюдении с помощью тепловизионной системы распределения температур во времени и пространстве. Сравнение с идеальной моделью рассеивания тепла позволяет определить все отклонения температуры, важные для режимов эксплуатации. Активный метод обычно применяется после охлаждения объекта. Для этого используют внешний источник тепла, создающий в материале термоудар. Тепловизионная система анализирует распространение тепловых волн в динамике и по изменению теплопроводности в материале обнаруживает внутренние дефекты.

Оперативный тепловизионный контроль работы отопительных приборов выявляет засорения и завоздушивание радиаторов, трассировку скрытых в стяжке труб и теплых полов, утечки из скрытых коммуникаций и теплых полов, позволяет контролировать теплоизоляцию трубопроводов и обследовать оборудование индивидуальных тепловых пунктов и мини-котельных.

На дисплее тепловизора отображается градиент температуры с изменением цвета, а каждому температурному значению соответствует свой определенный цвет. Современные тепловизоры промышленного назначения способны распознавать температуру с точностью до $0,1^{\circ}$.

Дисплеи тепловизора могут быть различных размеров, начиная от 2,5 дюймов. Даже имея небольшие линейные размеры, возможно оценить температурное состояние объекта. Кроме того, бюджетные модели могут быть совсем без монитора – все необходимые результаты заносятся в память, а для визуализации и последующей обработки необходимо наличие компьютера.

Тепловизоры разделяются на два класса: измерительные и наблюдательные. **Измерительные тепловизоры** способны создать полную картину температурного состояния наблюдаемого объекта, при этом присваивая каждому пикселю изображения точное цифровое значение. **Наблюдательные тепловизоры** – инфракрасные камеры, позволяющие только видеть изображение объекта в инфракрасном диапазоне.

2.2. Газоанализаторы в системах ТГВ

Газоанализатор – это специальный прибор для измерения количественного и качественного состава смеси газов. Различают два основных типа газоанализаторов: автоматические и ручные.

Автоматические газоанализаторы позволяют измерять физико-химический или физический состав смеси газов или отдельных его частей (рис. 2.1). Автоматический газоанализатор обеспечивает оперативное определение концентрации контролируемого компонента в анализируемой смеси, позволяет осуществлять запись результата измерения, а при необходимости – выдачу соответствующего сигнала и команд на исполнительные устройства.

В последнее время автоматические газоанализаторы и автоматические газоаналитические системы получают все большее распространение; они могут оснащаться несколькими датчиками, имеющими унифицированный выходной сигнал и использующими стандартный канал связи. Автоматические газоанализаторы предназначены для измерения уровней загазованности непосредственно в рабочей зоне помещений и открытых пространств, вблизи технологического оборудования, для выдачи предупредительной и аварийной сигнализации о достижении пороговых значений газовоздушной смеси оператору или персоналу объекта, а также для реализации программ автоматической защиты.



Рис. 2.1. Автоматический газоанализатор

Исходя из принципа действия, существуют три группы автоматических анализаторов: химические, или объемно-манометрические анализаторы; газоанализаторы, основанные на физико-химическом и физическом методах; физические газоанализаторы.

Химические, или объемно-манометрические анализаторы позволяют определить изменение давления и объема газовой смеси при помощи химических реакций, которые происходят с различными компонентами смеси газов. **Газоанализаторы, основанные на физико-химическом и физическом методах**, в зависимости от физики процесса подразделяются на хроматографические, термохимические, фотоколориметрические и электрохимические.

Хроматографические газоанализаторы предназначены для измерения состава смеси газов, твердых тел или жидкости. Принцип действия хроматографического анализатора заключается в индикации качественного и количественного состава разделенной газовой смеси. Существует три метода хроматографического измерения: вытеснительный, фронтальный, проявительный.

Термохимические анализаторы газа – это устройства, определяющие энергию выделяемого тепла при прохождении химической

реакции в смеси газов. Основной принцип работы – процесс окисления компонентов газа с применением дополнительных катализаторов (марганцево-медный катализатор, мелкодисперсная платина). Измерение возникающей температуры осуществляется с помощью терморезистора, который в зависимости от температуры меняет свое сопротивление, тем самым изменяя проходящий ток.

Фотоколориметрический анализатор газа – это прибор, использующий оптическую систему (излучатель-приемник), который при помощи уровня поглощенного светового потока веществом определяет его. Существуют две разновидности фотоколориметрических газоанализаторов: жидкостный фотоколориметрический анализатор газа (реакция протекает в растворе, что позволяет с точностью до 5 % определить компоненты смеси), ленточный фотоколориметрический газоанализатор (для реакции используют твердые носители).

Электрохимические газоанализаторы предназначены для определения токсических газов в помещениях или на рабочих зонах. Отличительной чертой данного устройства можно назвать возможность применять его во взрывоопасных зонах. Он компактный, энергосберегающий и практически нечувствителен к механическим воздействиям.

Электрохимические газоанализаторы способны определять следующие вещества: аммиак NH_3 , сероводород H_2S , угарный газ CO , оксид серы SO_2 , хлор Cl_2 , объемные доли кислорода O_2 .

По принципу действия они подразделяются на гальванические (реагируют на изменение электропроводности), электрокондуктометрические (реагируют на изменения тока или напряжения), потенциометрические (измеряют отношение напряженности поля и активных ионов).

В основе работы электрохимических анализаторов газа лежит явление электрохимической компенсации, заключающееся в выделении специального реагента, который реагирует с определенным компонентом смеси.

Физические газоанализаторы работают благодаря физическим процессам и подразделяются на следующие виды: термокондуктометрические, магнитные, оптические, денсиметрические.

Термокондуктометрические газоанализаторы позволяют определить состав газовой смеси при помощи такой физической величины, как теплопроводность. Принцип действия: при изменении каче-

ственного и количественного состава газовой смеси изменяются также теплопроводность и соответственно сопротивления в терморезисторах, в результате чего полученные данные анализируются, и по шаблону определяется состав определенных компонентов газа.

Магнитные газоанализаторы предназначены для определения процента O_2 в смеси газов и, в свою очередь, подразделяются на терромагнитные и магнитомеханические. Данные устройства измеряют силу, которая возникает в неоднородном магнитном поле и воздействует на ротор устройства, а также концентрации в диапазоне 10^{-2} .

Оптические газоанализаторы работают по принципу изменения оптических свойств газовой смеси (оптическая плотность, спектральное излучение, показатель преломления и т. д.). Данные газоанализаторы могут определять как органические (метан CH_4 , ацетилен C_2H_2 , этан C_2H_6 и т. д.), так и неорганические (хлор, аммиак, сероводород и т. д.) вещества. Оптические газоанализаторы подразделяются на ультрафиолетовые, инфракрасные, спектрофотометрические, интерферометрические. Принцип действия: определенный газ поглощает инфракрасное излучение с определенной длиной волны, в зависимости от которой устройство ведет расчет.

Денсиметрические газоанализаторы основаны на измерении плотности газовой смеси. Аппараты используются главным образом для измерения содержания углекислоты, плотность которой значительно превышает плотность воздуха.

Ручные анализаторы газа – это переносные устройства, которые обладают высокой точностью и служат для проверки автоматических анализаторов газа в процессе их эксплуатации (рис. 2.2). Они также предназначены для лабораторных и контрольных анализов. Основное отличие от автоматических устройств – это длительность процесса забора пробы, которая зависит от квалификации специалиста и может занимать от 5 до 10 мин.



Рис. 2.2. Ручной газоанализатор

На сегодняшний день наибольшее распространение получили оптические и электрохимические газоанализаторы.

По форм-фактору устройства можно разделить на стационарные газоанализаторы (устройства, предназначенные для стационарной установки в рабочей зоне промышленных заводов и комбинатов, химических лабораториях, на нефтеперерабатывающих и газодобывающих предприятиях и других производствах); портативные газоанализаторы (устройства индивидуального применения, которые дополняют стационарные анализаторы газа); переносные газоанализаторы (устройства, занимающие промежуточную нишу между стационарными и портативными. Они больше по размеру, чем портативные устройства, но обладают и большими возможностями, подходят для небольших предприятий).

Основные преимущества и недостатки некоторых видов газоанализаторов указаны в таблице.

Таблица основных преимуществ и недостатков газоанализаторов

Название	Достоинства	Недостатки
Термохимические	Низкая стоимость	Низкая избирательность; маленький диапазон измеряемой концентрации; непродолжительный срок службы сенсора; низкое быстродействие и чувствительность; для работы требуют наличие кислорода
Электрохимические	Позволяют обнаруживать даже мельчайшие частицы вредных газов; широкий диапазон определения загрязняющих органических и неорганических веществ; низкое энергопотребление; приемлемая цена	Ограниченное быстродействие; низкая селективность; крупные габариты; необходимость дополнительно большого количества реагентов и разнообразных блоков
Оптические	Высокая чувствительность; отсутствуют вредные реагенты, необходимые для анализа смеси газов; высокие быстродействие, селективность и чувствительность; позволяют определять практически все загрязняющие газы и вещества	Высокая стоимость

2.3. Вопросы и задания для самопроверки

1. Опишите принцип работы тепловизора.
2. Как делятся тепловизоры по назначению?
3. Какие существуют методы использования тепловизоров?
4. На какие классы делятся тепловизоры? Опишите их.
5. На какие типы делятся газоанализаторы? Их назначение.
6. На какие группы делятся газоанализаторы? Как они подразделяются в этих группах?

ГЛАВА 3

АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

3.1. Основные свойства объектов регулирования

Объект регулирования – это элемент **автоматической системы регулирования (АСР)**, и свойства всей системы во многом определяются свойствами объекта. Изучение свойств объектов регулирования – важный и часто основной этап разработки АСР. Объект регулирования в отличие от остальных элементов АСР является заранее заданным элементом, свойства которого определяются его значением в технологическом процессе. Поэтому создание АСР сводится к подбору остальных элементов с такими свойствами, чтобы свойства всей системы обеспечивали требуемую точность стабилизации регулируемого параметра, что невозможно сделать без знания свойств объекта.

Теория регулирования рассматривает объект как устройство, преобразующее по определенному закону свои входные сигналы в выходные. Состояние объекта в каждый момент времени определяется его выходными сигналами (регулируемыми параметрами), зависимость которых от входных (т. е. характер преобразования сигналов) и обуславливает свойства объекта. Другие свойства, характеризующие их физическую природу, конструкцию, условия эксплуатации, находящуюся в них среду и т. п., как указывалось, несущественны для процессов регулирования. Поэтому часто самым различным по своей природе объектам присущи одинаковые зависимости выходных сигналов от входных.

Как было показано ранее, при управлении в системах ТГВ их разбивают на элементарные объекты регулирования, как правило, с одним регулируемым и одним регулирующим параметром. Управление такими объектами осуществляется одноконтурными АСР. Поэтому здесь будут рассматриваться свойства только объектов регулирования с одним выходным сигналом.

Принято различать статические и динамические свойства объектов регулирования. **Статические свойства** объекта определяют его

способность сохранять состояние равновесия и связь между различными состояниями равновесия. Связь выражается различными **статическими характеристиками** объекта, представляющими собой зависимость между входной и выходной величинами в установившемся режиме. Эта связь может быть как линейной, так и нелинейной, что имеет важное значение на этапе синтеза системы регулирования или при поиске оптимальных решений в статике объекта управления.

В качестве примера рассмотрим статическую характеристику емкости 1 с притоком и потреблением жидкости, выходным сигналом которой является уровень (рис. 3.1, а). На линии потребления установлен клапан 2 с постоянным проходным сечением, а после клапана происходит свободный слив жидкости.

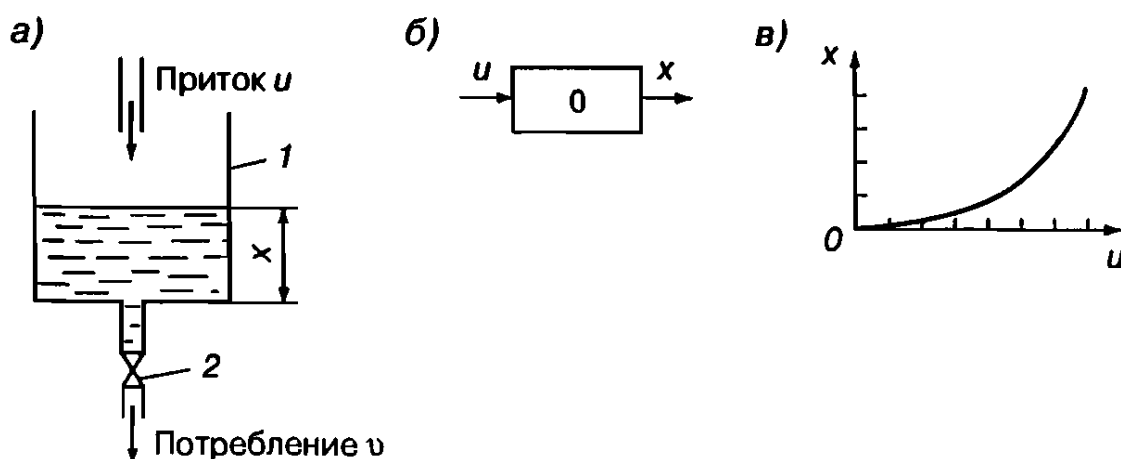


Рис. 3.1. Емкость как объект регулирования: а – схема; б – структурная схема; в – статическая характеристика; 1 – емкость; 2 – клапан

В этом случае расход на потребление v уже не является входным сигналом, так как он не может изменяться произвольно, а зависит от уровня в емкости x , т. е. от выходного сигнала. Из гидравлики известно, что эта зависимость имеет вид

$$v = k\sqrt{x}, \quad (3.1)$$

где k – коэффициент, зависящий от пропускной способности клапана.

Таким образом, в данном примере объект имеет один входной сигнал – расход на притоке u , и один выходной – уровень в емкости x (рис. 3.1, б). В состоянии равновесия объекта приток и потребление должны быть одинаковы и постоянны. Следовательно, заменяя в формуле (3.1) v на u и решая это уравнение относительно x , получим

зависимость установившегося значения уровня x от постоянного расхода на притоке u , т. е. статическую характеристику объекта

$$x = u^2/k^2. \quad (3.2)$$

Статическая характеристика (3.2) приведена на рис. 3.1, в.

Как отмечалось, в реальных условиях любой объект регулирования подвержен воздействию случайных возмущений и поэтому всегда находится в неустановившемся состоянии.

Следовательно, статическая характеристика объекта регулирования не может полностью характеризовать его поведение в реальных условиях. С помощью этой характеристики можно определить лишь статическую ошибку АСР. Поведение же объекта в неустановившемся состоянии (в динамике) зависит от его **динамических свойств**.

Динамические свойства объекта проявляются только при изменении его входных сигналов. При этом и выходной сигнал будет изменяться во времени. Причем в зависимости от характера изменения входных сигналов выходной сигнал одного и того же объекта может изменяться по-разному. Поэтому для характеристики динамических свойств объекта нельзя построить зависимость выходного параметра от входного, аналогичную статической характеристике. Динамические свойства объекта регулирования обуславливают протекание его переходного процесса, т. е. процесса перехода объекта из одного состояния равновесия в другое. Для выявления динамических свойств объекта необходимо узнать его реакцию на какой-либо определенный вид входного воздействия. Чтобы можно было сравнивать динамические свойства различных объектов, применяют одинаковые стандартизованные входные воздействия. Наиболее распространены следующие два вида стандартных воздействий:

- скачкообразные (ступенчатые), когда входной сигнал изменяют мгновенно, скачком на определенную величину, а затем поддерживают постоянным (рис. 3.2, а);
- импульсные, когда входной сигнал изменяют на очень большую величину в течение очень короткого промежутка времени, а затем возвращают к прежнему значению; такая форма воздействия имеет вид импульса (рис. 3.2, б).

До подачи стандартного воздействия объект должен находиться в состоянии равновесия, т. е. его входной и выходной сигналы должны быть постоянными. Зависимость выходного сигнала объекта от

времени начиная с момента подачи стандартного воздействия называется динамической характеристикой, или **переходным процессом**.

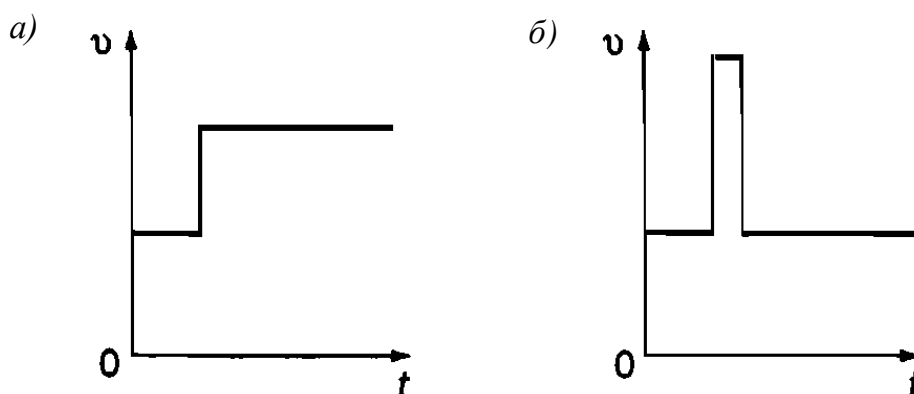


Рис. 3.2. Графики стандартных возмущений:
а – скачкообразное воздействие; б – импульсное воздействие

Графики типичных переходных процессов $x(t)$ в промышленных объектах регулирования при скачкообразном входном воздействии приведены на рис. 3.3, где через x обозначен выходной сигнал, а через t – время.

Рассмотрим для примера переходный процесс в емкости с притоком и потреблением жидкости (см. рис. 3.1). До подачи стандартного воздействия по расходу на притоке объект находится в состоянии равновесия: приток и потребление одинаковы. Увеличим расход на притоке и скачком (рис. 3.3, а). Тогда в емкости начнется накопление жидкости и уровень x в ней будет возрастать. Скорость роста уровня, очевидно, зависит от разности расходов на притоке и потреблении $v - u$, и она тем больше, чем больше эта разность. С другой стороны, с ростом уровня в емкости сразу же начнется и увеличение расхода v через клапан в соответствии с формулой (3.1). Следовательно, разность расходов на притоке и потреблении будет уменьшаться, а рост уровня – замедляться. Увеличение уровня прекратится, когда потребление снова сравняется с притоком, и тем самым будет достигнуто новое состояние равновесия. Описанный переходный процесс $x(t)$ показан на рис. 3.3, б.

Если объект регулирования имеет несколько входных сигналов (регулирующий и возмущающие параметры), то переходные процессы в нем при подаче стандартного воздействия по каждому входному сигналу могут быть неодинаковыми. Различают воздействия, подан-

ные по каналу регулирования (изменяется регулируемый параметр) или по каналу возмущения (изменяется возмущающий параметр).

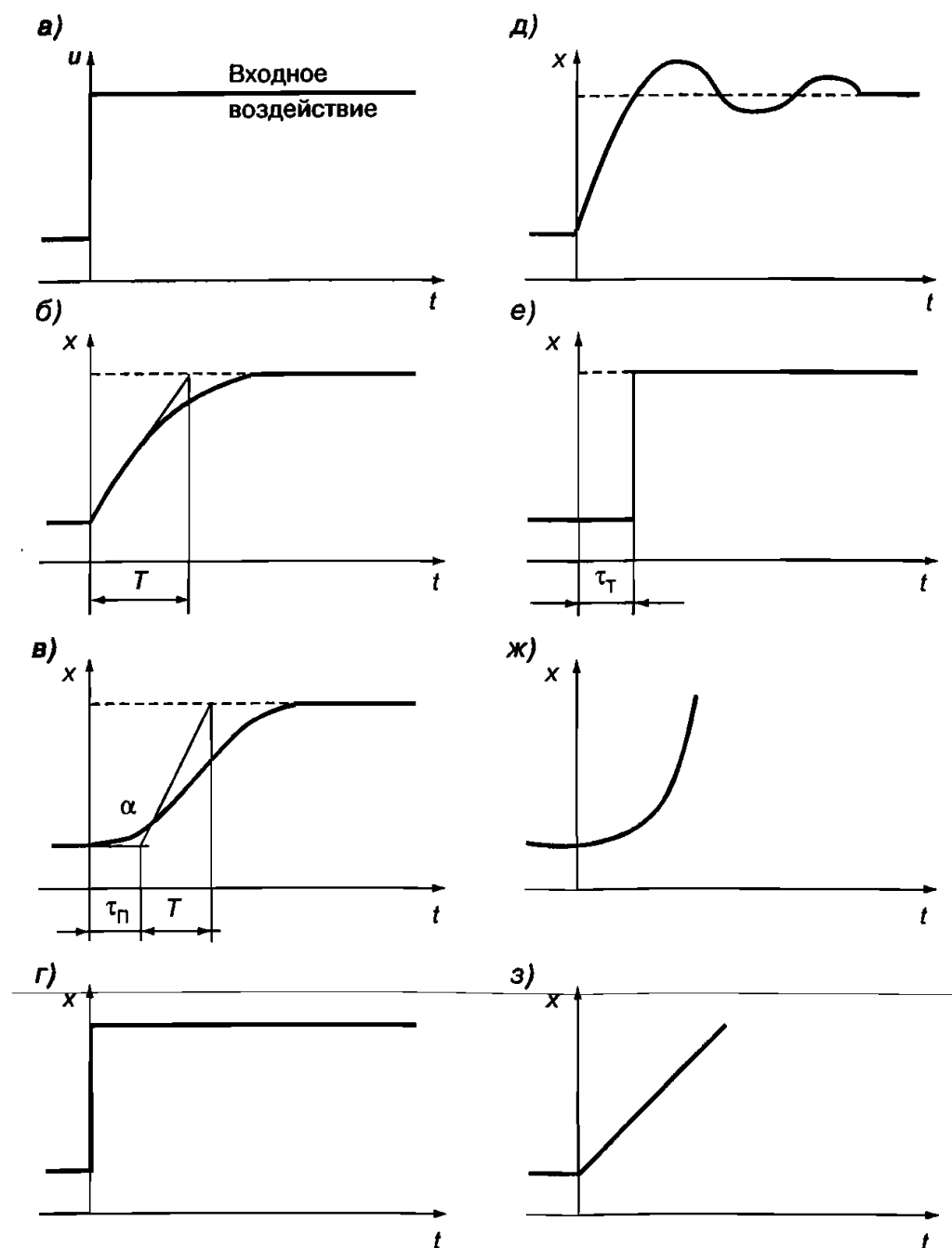


Рис. 3.3. Типичные переходные процессы в объектах регулирования при скачкообразном входном воздействии: а – изменение входного сигнала; б – з – изменения выходного сигнала; б, в – инерционного объекта; г – безынерционного; д – колебательного; е – объекта с запаздыванием; ж – неустойчивого; з – нейтрального

Наиболее интересен переходный процесс в объекте по каналу регулирования, так как именно через этот канал осуществляется пря-

мая связь в АСР. При изучении переходных процессов необходимо принимать во внимание, что всегда существуют реальные возмущающие воздействия, вызывающие случайные колебания выходного сигнала объекта. Чтобы четко выявить переходный процесс на фоне случайных колебаний, стандартные воздействия должны быть значительно более сильными, чем случайные воздействия на объект. Именно по этой причине стандартные воздействия имеют вид скачка или импульса, т. е. мгновенно и наиболее резко изменяются входные сигналы. Величину скачкообразного или импульсного воздействия выбирают такой, чтобы, с одной стороны, получить заметный переходный процесс, а с другой – не допустить возникновения аварийного режима работы.

Переходные процессы признаны универсальным средством изучения динамических свойств объектов. Чтобы понять, как в переходном процессе изменяются динамические свойства объекта и как их можно установить по виду процесса, рассмотрим типичные динамические свойства объектов и соответствующие им переходные процессы. Почти все объекты регулирования обладают **инерцией**, которая проявляется в том, что при мгновенном изменении входного сигнала выходной сигнал изменяется не мгновенно, а постепенно. Изменение выходного сигнала продолжается и после прекращения входного воздействия, т. е. когда входной сигнал уже не изменяется, – такое явление называется **последствием**. Примеры переходных процессов для инерционных объектов показаны на рис. 3.3, б, в.

Инерция присуща объектам и протекающим в них процессам самой различной природы. Например, постепенное изменение уровня в емкости после скачкообразного или импульсного изменения притока жидкости – проявление гидродинамической инерции. У некоторых объектов инерция может быть пренебрежимо малой в сравнении с остальными элементами АСР и не оказывает заметного влияния на процесс регулирования. Такие объекты называют **безынерционными**. В идеальном безынерционном объекте выходной сигнал изменяется синхронно с входным без всякого последствия, как показано на рис. 3.3, г. Инерция реальных объектов регулирования вызвана наличием в них запаса вещества или энергии. Чем больше этот запас, тем сильнее проявляется инерция объекта. Так, инерция емкости обусловлена запасом жидкости в ней. Способность объекта накапливать

вещество или энергию называется **емкостью** и является количественной мерой инерции. При переходных процессах в инерционных объектах запас вещества или энергии в них может изменяться как монотонно (только увеличиваться или только уменьшаться), так и колебательно. Например, груз, подвешенный на пружине, при отклонении его от положения равновесия начинает колебаться. Такой же колебательный характер имеет величина тока в электрическом колебательном контуре.

Общим для этих примеров можно назвать колебательный характер выходных сигналов объектов – положения груза и тока в электрическом контуре. Объекты, обладающие таким свойством, называются **колебательными**. В отличие от них объекты с монотонным изменением выходных сигналов называются **апериодическими** (неколебательными). Примеры переходных процессов в апериодических объектах регулирования приведены на рис. 3.3, б, в, в колебательном объекте – на рис. 3.3, д. Еще одним важным свойством реальных объектов выступает **запаздывание**. Оно проявляется в том, что реакция объекта на входное воздействие, т. е. изменение его выходного сигнала, запаздывает по отношению к изменению входного сигнала. Переходный процесс с запаздыванием показан на рис. 3.3, е.

Мы рассматривали объекты регулирования, в которых переходные процессы заканчиваются установившимся значением выходного сигнала (пунктирная линия на рис. 3.3, б – е). Такие объекты под влиянием входного воздействия переходят из одного состояния равновесия в другое (отсюда и название процесса – переходный). Эти объекты регулирования получили название **устойчивых**. Все рассмотренные выше переходные процессы присущи устойчивым объектам.

Устойчивые объекты регулирования обладают одним общим свойством – **самовыравниванием**, т. е. способностью переходить из одного установившегося состояния в другое по окончании переходного процесса при скачкообразном входном воздействии. Чем меньше изменяется выходной сигнал в переходном процессе при одном и том же скачкообразном входном воздействии, тем больше степень самовыравнивания объекта. Существуют устойчивые объекты с очень большим самовыравниванием, когда выходной сигнал после переходного процесса почти не отличается от его начального значения. График статической характеристики таких объектов расположен почти

горизонтально, т. е. в установившемся состоянии выходной сигнал очень слабо зависит от входного. В СТГВ имеются объекты и с очень малым самовыравниванием, когда малейшее изменение входного сигнала значительно изменяет выходной.

Устойчивость – широко распространенное в СТГВ, но не обязательное свойство объектов: существуют и **неустойчивые объекты** регулирования. У таких объектов состояние равновесия существует, но оно неустойчиво, поэтому любое сколь угодно малое возмущение выводит неустойчивый объект из состояния равновесия, и с течением времени он все больше отклоняется от этого состояния. Переходный процесс в неустойчивом объекте показан на рис. 3.3, ж.

Неустойчивые объекты довольно редки. Значительно чаще встречаются так называемые **нейтральные объекты**, занимающие промежуточное положение между устойчивыми и неустойчивыми. Например, нейтральный объект можно получить из рассмотренной выше емкости с притоком и потреблением жидкости, если расход на потребление сделать независимым от уровня в емкости. Для этого достаточно, например, установить на линии потребления насос с постоянной производительностью. У такого объекта существует состояние равновесия: когда приток равен потреблению, уровень не изменяется. Однако в отличие от устойчивого объекта (емкости с клапаном на линии потребления – см. рис. 3.1) равенство притока и потребления может соблюдаться при любом значении уровня. Иначе говоря, в состоянии равновесия объекта его выходной сигнал – уровень – может быть любым независимо от расхода на притоке и потреблении, т. е. статической характеристики у такого объекта нет. Поэтому нейтральные объекты называют еще **астатическими**.

Приложим теперь скачкообразное воздействие к расходу на притоке, например, увеличим его. Так как потребление не зависит от уровня в емкости, то разность между притоком и потреблением будет оставаться постоянной и, следовательно, уровень в емкости будет возрастать с постоянной скоростью, не стремясь ни к какому установившемуся значению. Такой переходный процесс показан на рис. 3.3, з. Подобные свойства присущи всем нейтральным объектам. О нейтральных объектах можно сказать, что они не имеют самовыравнивания.

Рассмотрим теперь, как динамические свойства объектов проявляются в соответствующих переходных процессах. Наиболее широко

распространенное свойство инерции объектов в СТГВ как устойчивых, так нейтральных и неустойчивых проявляется в переходном процессе в виде плавного, без скачков изменения выходного сигнала (рис. 3.3, б, в, д, ж, з). Следствием такого поведения инерционного объекта является следствие, т. е. изменение выходного сигнала при уже не изменяющемся (после скачка) входном сигнале. Количественно инерцию объекта можно было бы охарактеризовать скоростью изменения выходного сигнала. Однако, как видно из рис. 3.3, эта скорость изменяется с течением времени, причем у одних объектов она максимальна в начальный момент времени (см. рис. 3.3, б), а у других – в некоторой точке α (см. рис. 3.3, в).

Определение максимальной скорости переходного процесса позволяет ввести понятие постоянной времени, которая и служит оценкой инерции объекта. **Постоянной времени T** объекта называется время, за которое его выходной сигнал x достиг бы установившегося значения в переходном процессе, если бы изменялся все время с максимальной скоростью. Как следует из определения, постоянная времени существует только у устойчивых объектов. Ее величину можно найти по графику переходного процесса. Для этого следует провести касательную к этому графику в точке максимальной скорости. Тогда постоянную времени T находят как показано на рис. 3.3, б, в. Такой способ обычно используется только для апериодических (неколебательных) объектов.

С точки зрения управления инерция объектов имеет как положительную, так и отрицательную сторону. Положительная состоит в том, что благодаря инерционности объект не успевает реагировать на кратковременные возмущения, что облегчает стабилизацию его регулируемого параметра. С другой стороны, неизбежное при этом последствие затрудняет компенсацию возмущений в АСР по отклонению, что снижает качество стабилизации параметров.

Свойство колебательности объектов играет только отрицательную роль в процессе регулирования. Вследствие колебательности выходной сигнал объекта изменяется в течение переходного процесса на большую величину, чем в апериодическом объекте. Это видно из сравнения графиков переходных процессов в апериодическом (см. рис. 3.3, б, в) и колебательном (см. рис. 3.3, д) объектах.

Запаздывание в объектах регулирования проявляется в сдвиге по времени начала переходного процесса относительно входного воздействия. Величина этого временного сдвига называется **временем запаздывания**, а само запаздывание – **чистым**, или **транспортным**. При транспортном запаздывании выходной сигнал x совсем не изменяется в течение всего времени запаздывания τ_t (см. рис. 3.3, *е*). Однако эффект, похожий на запаздывание, наблюдается и в некоторых объектах без транспортного запаздывания, когда выходной сигнал x в переходном процессе сначала изменяется медленно (см. рис. 3.3, *в*) – это связано с временем протекания и установления физико-химических процессов. Такой эффект кажущегося запаздывания называется **переходным запаздыванием**. Время переходного запаздывания τ_n можно найти по графику переходного процесса, как показано на рис. 3.3, *в*.

Запаздывание, в особенности транспортное, – наиболее неблагоприятное свойство объектов с точки зрения их регулирования. Так, в АСР с обратной связью рассогласование, вызываемое возмущающими воздействиями на объект с запаздыванием, проявляется лишь по истечении времени запаздывания. Поэтому и регулирующее воздействие в таких АСР запаздывает по отношению к возмущающим. Получается, что регулятор в АСР реагирует не на текущее, а на прошлое возмущение, что затрудняет его компенсацию и приводит к ухудшению стабилизации регулируемого параметра. Поэтому объекты, имеющие переходное запаздывание, труднее поддаются регулированию.

Как правило, запаздывание обычно сочетается с инерцией. Наиболее трудные для регулирования безынерционные объекты с транспортным запаздыванием встречаются редко. Для объектов с запаздыванием качество регулирования может быть лучше при меньшем отношении времени полного запаздывания $\tau = \tau_n + \tau_t$ к постоянной времени T . Отношение τ/T минимально (равно нулю) для всех объектов без запаздывания и максимально (бесконечно велико) – для безынерционных с запаздыванием, когда $T = 0$.

Устойчивые объекты легче поддаются управлению, чем неустойчивые. Так, в любом устойчивом объекте отклонение регулируемого параметра под действием возмущения имеет вполне определенную, не бесконечную величину (см. рис. 3.3, *б – е*). Поэтому при

достаточно большом самовыравнивании, когда возмущающие воздействия вызывают малые колебания регулируемого параметра, можно обойтись без системы управления. В нейтральных же объектах, в особенности неустойчивых, отклонение регулируемого параметра под действием возмущений может стать сколь угодно большим. Поэтому управлять такими объектами, безусловно, необходимо. Таким образом, самовыравнивание объекта способствует управлению им и поэтому иногда называется саморегулированием.

Степень самовыравнивания, как отмечалось, характеризует запас устойчивости объекта. Объекты с большим самовыравниванием имеют большой запас устойчивости и легко поддаются управлению. Объекты с нулевым самовыравниванием, т. е. нейтральные, не имеют запаса устойчивости (говорят, что они находятся на границе устойчивости). Неустойчивые же объекты обладают отрицательным самовыравниванием, и им приписывают отрицательный запас устойчивости. Следует иметь в виду, что степень самовыравнивания не полностью характеризует объект с точки зрения регулирования. Имеют значение и другие показатели, в частности отношение τ/T . Так, для объекта с большим отношением τ/T качество стабилизации его регулируемого параметра в АСР может быть низким даже при значительном самовыравнивании.

3.2. Основные законы автоматического регулирования и типы регуляторов

При неизменных свойствах объекта качество регулирования в АСР зависит от прочих свойств в первую очередь регулятора, которые определяются характером преобразования его входного сигнала Δx в выходной сигнал z . Так, для АСР уровня в емкости регулятором служит рычаг. При изменении уровня в емкости, например, при его увеличении, поплавков поднимается и поворачивает рычаг, который прикрывает клапан, уменьшая приток жидкости в емкость. В этой АСР исполнительный механизм отсутствует и выходной сигнал регулятора z одновременно является входным сигналом регулирующего органа – степенью открытия клапана. В таком регуляторе перемещение штока пропорционально перемещению поплавка. Следовательно, выходной сигнал этого регулятора пропорционален входному отклонению уровня от заданного значения.

Существуют регуляторы, имеющие и другие зависимости выходного сигнала от входного. Характер зависимости выходного сигнала регулятора от входного, т. е. закон, по которому его входной сигнал преобразуется в выходной, называется законом регулирования.

Как известно, несмотря на большое разнообразие объектов регулирования, характерные их свойства, имеющие существенное значение для целей управления, немногочисленны, как и сами способы управления объектами. Это объясняется общностью физических законов, которым подчиняются различные процессы, протекающие в объектах и системах регулирования. Подобная универсальность присуща и законам регулирования для самых различных объектов. Используя весьма небольшое число типовых законов регулирования, можно качественно управлять почти всеми СТГВ. При этом для каждого объекта достаточно подобрать лишь параметры настройки регулятора. Применение таких типовых законов регулирования позволяет использовать в АСР стандартные и серийные регуляторы, что имеет неоспоримые достоинства. Когда при высоких требованиях к качеству АСР и сильно изменяющихся свойствах объектов типовые законы регулирования оказываются неэффективными, прибегают и к более сложным законам.

Свойства регулятора, как и свойства объектов регулирования и АСР, проявляются в реакции на скачкообразное входное воздействие Δx , показанное на рис. 3.3, а. Рассмотрим типовые законы регулирования и области их применения.

Наиболее простым считается такой закон регулирования, при котором выходной сигнал регулятора z линейно зависит от входного Δx ,

$$z = z_0 + k\Delta x, \quad (3.3)$$

где z_0 — постоянная составляющая сигнала z ; k — коэффициент пропорциональности, называемый **коэффициентом передачи регулятора**.

Как видно из формулы (3.3), z_0 — это такое значение выходного сигнала регулятора, при котором рассогласование Δx на его входе равно нулю. Закон регулирования, выраженный формулой (3.3), называется **пропорциональным**, сокращенно **П-законом регулирования**, а сам регулятор называют **пропорциональным**, или **П-регулятором**.

Этот закон действует, например, при регулировании уровня в емкости, где регулирующее воздействие – степень открытия клапана – пропорционально перемещению поплавка, т. е. отклонению уровня в емкости от его задания.

Почти всем объектам в СТГВ в той или иной мере присуще запаздывание, особенно переходное. Запаздывание ухудшает качество регулирования в АСР с обратной связью. Физически это можно объяснить тем, что возмущающее воздействие на объект с запаздыванием не сразу сказывается в рассогласовании; следовательно, регулятор реагирует на возмущающее воздействие также с запаздыванием. В результате и регулирующее воздействие запаздывает по отношению к вызвавшему его возмущающему воздействию. Таким образом, регулирующее воздействие по П-закону как бы оказывается несвоевременным и неспособным поэтому эффективно скомпенсировать действие возмущений.

С увеличением глубины обратной связи (ростом k) регулирующее воздействие увеличивается и его несвоевременность проявляется все сильнее, что в конце концов вызовет неустойчивость АСР. Поэтому для объектов со значительным запаздыванием не удастся получить требуемое качество регулирования. Этот недостаток П-закона регулирования сужает область его применения.

Закон можно усовершенствовать, если в нем учитывать тенденцию изменения рассогласования в будущем. Для этого используется скорость изменения рассогласования Δx . Такой регулятор будет иметь способность к **предварению**, т. е. он будет реагировать на рассогласование с опережением по времени. Предварение – явление, противоположное запаздыванию, и поэтому может его скомпенсировать.

Закон регулирования в регуляторе с предварением включает в себя еще одно слагаемое, пропорциональное скорости изменения рассогласования Δx :

$$z = z_0 + k(\Delta x + T_d \Delta x'), \quad (3.4)$$

где T_d – постоянный коэффициент.

В математике нахождение скорости изменения некоторой переменной величины называется дифференцированием. Поэтому такой закон регулирования называется **пропорционально-дифференциальным** (сокращенно – ПД-закон регулирования и ПД-регулятор). Слагаемое $k\Delta x$ называется пропорциональной, или П-составляющей, а слагаемое

$kT_d\Delta x'$ – дифференциальной, или Д-составляющей. Коэффициент T_d в дифференциальной составляющей всегда положителен и имеет размерность времени. Поэтому он получил название **времени дифференцирования**, или **времени предварения**.

Если рассогласование $\Delta x'$ не изменяется, то его скорость $\Delta x'$ равна нулю и, как видно из формул (3.3) и (3.4), в этом случае ПД-закон регулирования действует так же, как П-закон. Следовательно, действие Д-составляющей проявляется лишь в неустановившемся состоянии АСР, пока рассогласование изменяется во времени. В ПД-регуляторе в сравнении с П-регулятором добавляется еще один настроечный параметр – время предварения T_d .

ПД-регулятор позволяет эффективнее компенсировать действие возмущений на объекты с запаздыванием, т. е. ПД-закон регулирования расширяет область применения П-закона на объекты со значительным запаздыванием. При этом следует иметь в виду, что дифференцирование рассогласования не является идеальным его предварением и поэтому не может полностью устранить вредное влияние запаздывания сигнала в контуре обратной связи АСР. В особенности это касается транспортного запаздывания, когда входное воздействие в течение всего времени запаздывания никак не проявляется в рассогласовании Δx , а следовательно, и в скорости его изменения $\Delta x'$. Может оказаться, что для таких объектов не только ПД-закон, но и никакой другой закон регулирования не обеспечит требуемого качества АСР. Это тот случай, когда обратная связь как способ регулирования по отклонению оказывается бессильной. Выход из положения – применение дополнительного регулирующего воздействия по возмущению, т. е. комбинированной АСР.

П- и ПД-законы регулирования являются статическими: установившееся рассогласование (статическая ошибка) в АСР с П- и ПД-регулятором не равно нулю. На это уже обращалось внимание в примере регулирования уровня в емкости. Дальнейшее совершенствование П- и ПД-регуляторов заключается в придании им свойства астатизма, т. е. способности устранять с течением времени статическую ошибку АСР. Примером такого регулятора может служить регулятор давления воздуха в ресивере.

Выше было показано, что астатизм регулятора проявляется в том, что его выходной сигнал z непрерывно и неограниченно изменя-

ется все время, пока существует ненулевой входной сигнала Δx . В рассмотренных выше законах регулирования (см. формулы (3.3) и (3.4)) астатизм можно обеспечить только за счет составляющей z_0 , которая уже не должна быть постоянной.

Для этого достаточно изменять ее со скоростью, пропорциональной рассогласованию, т. е.

$$z'_0 = (k/T_{\text{и}})\Delta x, \quad (3.5)$$

где z'_0 – скорость изменения величины z_0 ; $k/T_{\text{и}}$ – коэффициент пропорциональности (здесь k – коэффициент передачи регулятора; $T_{\text{и}}$ – постоянный коэффициент).

Как видно из формулы (3.5), при отсутствии рассогласования скорость z'_0 равна нулю и, следовательно, величина z_0 не изменяется. При наличии рассогласования скорость z'_0 не равна нулю и величина z_0 непрерывно изменяется.

По известной скорости z'_0 можно восстановить и саму величину z_0 , подобно тому как, зная скорость движения тела, можно найти пройденный им путь. Операция отыскания переменной величины по известной скорости ее изменения обратна операции дифференцирования и называется **интегрированием**. Величина $T_{\text{и}}$, имеющая размерность времени, называется **временем интегрирования**.

Итак, если в П-законе регулирования значение z_0 вычислять по формуле (3.5), то получим астатический закон регулирования

$$\begin{cases} z = z_0 + k\Delta x; \\ z'_0 = (k/T_{\text{и}})\Delta x. \end{cases} \quad (3.6)$$

Закон регулирования (3.6) называется **пропорционально-интегральным** (сокращенно – ПИ-закон регулирования и соответственно ПИ-регулятор). Здесь переменная величина z_0 является интегральной составляющей закона регулирования (И-составляющей).

Аналогично, если в ПД-законе регулирования значение z_0 вычислять из формулы (3.5), то получим также астатический **пропорционально-интегрально-дифференциальный закон регулирования** (сокращенно – ПИД-закон регулирования и соответственно ПИД-регулятор)

$$\begin{cases} z = z_0 + k(\Delta x + T_{\text{д}}\Delta x'); \\ z'_0 = (k/T_{\text{и}})\Delta x. \end{cases} \quad (3.7)$$

Переходные процессы в ПИ- и ПИД-регуляторах показаны на рис. 3.3, з, д. В результате введения И-составляющей величина z_0 перестает быть параметром настройки ПИ- и ПИД-регуляторов. Вместо

нее в этих регуляторах появляется новый параметр настройки – время интегрирования $T_{\text{и}}$.

Итак, типовые законы (П, ПД, ПИ и ПИД) состоят из П-, Д- и И-составляющих, каждая из которых по-своему связана с входным сигналом регулятора Δx . ПИД-закон включает все три составляющие. При $T_{\text{д}} = 0$ он превращается в ПИ-закон, а при бесконечно большом $T_{\text{и}}$ – в ПД-закон. Если одновременно $T_{\text{д}} = 0$ и $T_{\text{и}}$ бесконечно велико, то ПИД-закон превращается в П-закон регулирования.

Возможен и чисто интегральный закон регулирования (И-закон), состоящий из одной И-составляющей:

$$z' = (k/T_{\text{и}})\Delta x, \quad (3.8)$$

где z' – скорость изменения выходного сигнала регулятора.

И-закон регулирования (И-регулятор) называется астатическим и применяется обычно для регулирования объектов со слабо выраженными динамическими свойствами (малые запаздывание и инерция). В отличие от него ПИ-закон регулирования, также астатический, называют еще **изодромным**.

Рассмотренные типовые законы регулирования (3.3) – (3.8) характеризуются непрерывной зависимостью выходного сигнала регулятора z от рассогласования Δx . Любое сколь угодно малое изменение Δx вызывает изменение z . Однако применяемые на практике законы не только непрерывные. Существуют и дискретные законы регулирования, в частности, **релейные**, где выходной сигнал регулятора z имеет лишь одно из двух возможных значений – z_1 или z_2 . Следовательно, и регулирующий орган может находиться в одном из двух положений: открыто (включено) – закрыто (выключено). Такой закон называется **двухпозиционным** и имеет вид

$$\begin{cases} z = z_1 \text{ при } \Delta x < 0; \\ z = z_2 \text{ при } \Delta x \geq 0. \end{cases} \quad (3.9)$$

Зависимость (3.9) представлена графически на рис. 3.4. Из него видно, что при изменении знака рассогласования Δx выходной сигнал регулятора z в релейном законе изменяется скачком от одного возможного значения до другого, а регулирующий орган соответственно переключается из одного положения в другое.

Релейные регуляторы обычно конструктивно проще непрерывных, и их применяют, когда не предъявляются высокие требования к качеству управления. Примером двухпозиционного регулятора может

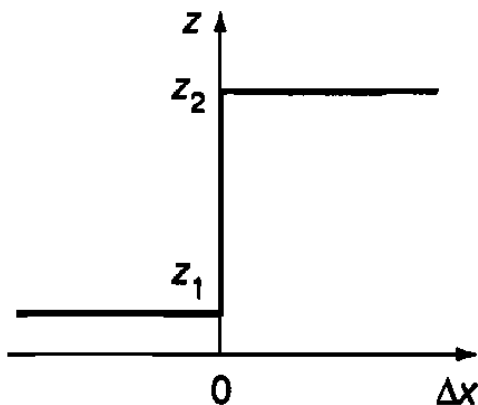


Рис. 3.4. График двухпозиционного закона регулирования

служить регулятор температуры в электрическом уюте. Этот регулятор включает нагревательную спираль, когда температура уюта ниже заданной, и выключает ее, когда температура становится выше заданной. Здесь входной сигнал регулятора – отклонение регулируемой температуры от заданной, а выходной сигнал z – состояние спирали: z_1 – спираль включена (при $\Delta x < 0$); z_2 – выключена (при $\Delta x \geq 0$).

3.3. Оценка качества автоматического регулирования

Свойства объекта регулирования всегда определяются его значением в СТГВ, но не всегда благоприятны для управления. Поэтому задачей управления объектом можно считать изменение его свойств для уменьшения чувствительности к возмущающим воздействиям. С этой точки зрения АСР в целом можно рассматривать как объект, входными сигналами которого являются задания $x_{\text{зад}}$ и возмущение u , а выходным сигналом – регулируемый параметр x (рис. 3.5). Этот объект, очевидно, должен обладать лучшими статическими и динамическими свойствами, чем сам объект регулирования.



Рис. 3.5. АСР как скорректированный объект регулирования

Как и для объектов регулирования, для АСР также различают статические и динамические показатели. Основным статическим показателем АСР является **статическая ошибка**, т. е. рассогласование в установившемся состоянии. Как

известно, в астатическом АСР статическая ошибка отсутствует. Поэтому можно утверждать, что астатический регулятор наилучшим образом корректирует статические свойства объекта.

Динамические показатели АСР проявляются только в неустановившемся состоянии. Поэтому их можно выявить по реакции АСР на

стандартные воздействия по каналам задания x или возмущения u , т. е. по переходным процессам в ней. Примеры переходных процессов в АСР – изменение рассогласования Δx при скачкообразном воздействии по каналу задания (на значение $\Delta x_{\text{зад}}$) и каналу возмущения – приведены на рис. 3.6.

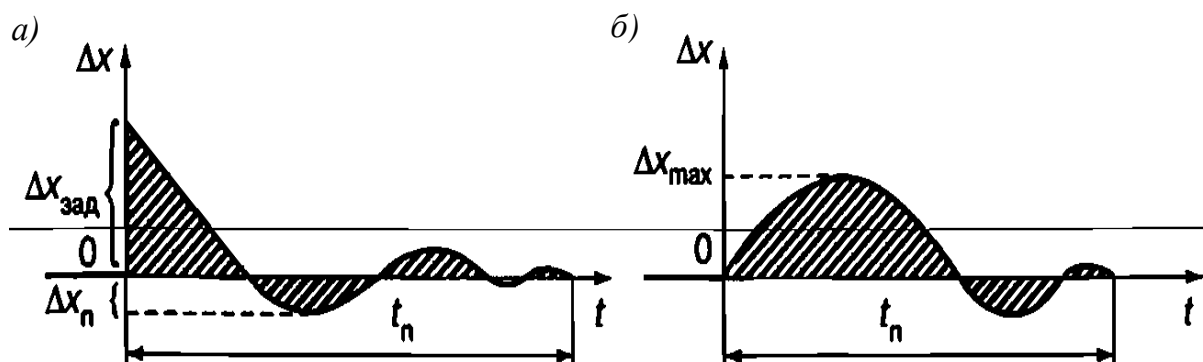


Рис. 3.6. Переходные процессы в АСР при скачкообразных входных воздействиях: а – по каналу задания; б – по каналу возмущения

Какие свойства АСР считаются идеальными с точки зрения качества стабилизации параметра? Ясно, что в идеальной АСР любые возмущающие воздействия не должны вызывать рассогласования. Это означает, что идеальная АСР должна быть нечувствительной к возмущениям. Отсюда следует, что в идеальной АСР статическая ошибка отсутствует, а переходный процесс таков, что площадь, заштрихованная на рис. 3.6, равна нулю.

Идеальные переходные процессы в реальных АСР практически недостижимы. По отклонению переходного процесса в реальной АСР от идеального можно судить о качестве ее работы. Для количественной оценки качества работы АСР служат показатели качества регулирования (качества переходных процессов). Одним из таких показателей в установившемся состоянии АСР является уже упоминавшаяся статическая ошибка. Наиболее универсальный динамический показатель, характеризующий близость АСР к идеальной, – абсолютное значение **площади переходного процесса** (на рис. 3.6, а эта площадь заштрихована). Наряду с абсолютной величиной площади переходного процесса часто используют такой показатель, как квадрат этой площади (при этом автоматически не учитывается знак отклонения). Оба этих показателя характеризуют одновременно и величину, и длительность рассогласования в переходном процессе. Иногда важнее

длительность переходного процесса, в частности, когда требуется перевести объект управления в новое состояние за минимальное время. В этом случае за показатель качества регулирования принимают **время переходного процесса** t_{π} .

В некоторых случаях главную роль играет величина рассогласования в переходном процессе. Тогда показателем качества регулирования считают максимальное рассогласование Δx_{\max} , называемое **динамической ошибкой**. В реальных условиях лучше вводить стандартное воздействие $\Delta x_{\text{зад}}$ по каналу задания. Такие переходные процессы характеризуются теми же показателями качества, за исключением динамической ошибки. Вместо нее вводят другой показатель: **перерегулирование** $\Delta x_{\text{пер}}$, определяемый, как показано на рис. 3.6, а. Указанные показатели качества равны нулю для идеальной АСР и больше нуля для любой реальной АСР. Чем эти показатели меньше, тем ближе АСР к идеальной.

Свойства любой АСР и качество переходных процессов в ней зависят как от свойств объекта, так и от характеристик остальных элементов АСР. Поэтому, изменяя характеристики отдельных элементов АСР, в частности регулятора, можно добиться наилучшего возможного в данных условиях качества переходного процесса (например, минимального времени переходного процесса). Такая АСР будет наилучшей из всех возможных для данного объекта регулирования и ее называют **оптимальной**. Не следует смешивать понятия оптимальности и идеальности. Идеальная АСР практически недостижима, а оптимальная – это наилучшее приближение к идеальной относительно некоторого критерия.

Разработка и построение оптимальных АСР обычно связаны со значительными трудностями, а сами эти АСР оказываются сложными и дорогими. Однако замечено, что даже большие отступления от оптимальной АСР обычно приводят к незначительному ухудшению качества регулирования. Такие отступления практически неизбежны, так как свойства, как правило, известны лишь приближенно и изменяются с течением времени, а при изготовлении регуляторов и других элементов АСР неизбежен разброс их параметров. Поэтому в большинстве случаев требуется наладка АСР на действующем объекте. С этой целью регуляторы снабжают органами регулировки, позволяющими изменять их настройку в достаточно широком диапазоне.

Наладка АСР на действующем объекте требует высокой квалификации. Регулируемый параметр АСР под действием случайных возмущений колеблется около своего задания. В этих условиях трудно проследить влияние параметров настройки регулятора на показатель качества и определить, в какую сторону и насколько следует их изменять. Ясно, что чем меньше параметров настройки, тем проще процесс наладки АСР. Однако сложные современные АСР (комбинированные, многоконтурные) могут иметь достаточно много параметров настройки. И в этом случае уже бессильны опыт и интуиция самого квалифицированного специалиста.

Системы, способные автоматически находить и поддерживать оптимальные значения параметров настройки, называются **самонастраивающимися**. Такие системы содержат элементы (устройства), автоматически изменяющие параметры настройки в нужную сторону. Иначе говоря, самонастраивающиеся АСР автоматически изучают свойства объекта и возмущающих воздействий и приспосабливаются к ним. Вообще автоматические системы, обладающие способностью к самообучению, называются **самообучающимися**, или **адаптивными**. Самонастраивающиеся АСР – лишь один из видов адаптивных систем. Другим частным случаем адаптивных систем являются так называемые экстремальные, которые не только стабилизируют регулируемый параметр около его задания, но и автоматически выбирают задание, наилучшее (оптимальное) для всей технологической системы.

3.4. Классификация систем автоматического регулирования

В системах автоматизации для перемещения регулирующих органов и формирования алгоритмов регулирования используют различные виды энергии (электрическая, пневматическая, гидравлическая). Отдельный класс составляют регуляторы, не потребляющие энергию от внешнего источника, а использующие энергию регулируемой среды. Такие регуляторы называются **регуляторами прямого действия**. Они просты по конструкции, но, как правило, не позволяют получить требуемый закон регулирования и достаточную мощность выходного сигнала для **регулирующего органа (РО)**. Поэтому в сложных системах регулирования применяются **регуляторы не-**

прямого действия, для работы которых необходим источник энергии. Устройства, потребляющие энергию одного рода, образуют в Государственной системе промышленных приборов и средств автоматизации (ГСП) единую структурную группу, или «ветвь ГСП». При автоматизации СТГВ наиболее широко применяют регуляторы ГСП: электрические, пневматические и гидравлические.

В электрической ветви в настоящее время существует несколько систем регуляторов. Наибольшее распространение получила электронная агрегатная унифицированная система (ЭАУС). Каждый регулятор ЭАУС состоит из двух блоков: измерительного и формирующего. Измерительный блок предназначен для алгебраического суммирования входных сигналов регулятора и пропорционального преобразования регулирующего сигнала (рассогласования) в напряжение постоянного тока. Формирующий блок служит для преобразования этого напряжения в выходной сигнал по заданному закону регулирования.

Регуляторы ЭАУС работают с регулирующими органами, снабженными электрическими исполнительными механизмами (ЭИМ), электродвигатели которых рассчитаны на напряжение определенной величины и имеют постоянную скорость вращения. Поэтому регулируемый орган ЭИМ может перемещаться с постоянной скоростью (при включенном электродвигателе) или оставаться в неподвижном положении (при выключенном электродвигателе).

Изменять скорость перемещения РО можно лишь в режиме периодического включения и выключения ЭИМ путем подачи на электродвигатель импульсов напряжения постоянной амплитуды. При этом РО будет перемещаться не непрерывно, а скачками. Если же импульсы напряжения следуют достаточно часто друг за другом, то скачкообразное перемещение РО будет восприниматься объектом как непрерывное управляющее воздействие. Однако наличие в ряде элементов ЭАУС контактов, снижающих надежность, трудность изменения скорости хода ЭИМ и опасность применения электрических устройств во взрывоопасных условиях ограничивают использование таких систем.

Приборы пневматической ветви ГСП характеризуются безопасностью применения во взрывоопасных средах, простотой устройства, безопасностью обслуживания, высокой надежностью, низкой стоимостью и большими функциональными возможностями. Пневматиче-

ские системы особенно удобны для крупных СТГВ при большом количестве автоматизированных объектов, так как требуют менее квалифицированного обслуживания, чем электрические.

Пневматические регуляторы (ПР) создают из унифицированных элементов и модулей, каждый из которых выполняет какую-либо простую операцию. Главной частью пневматической ветви ГСП является система «Старт», регуляторы которой предназначены для работы с РО, снабженными пневматическим исполнительным механизмом (ПИМ), и используют унифицированные пневматические сигналы. Основными в системе «Старт» являются регуляторы: позиционные релейные – ПР1.5, ПР1.6; пропорциональные (П) – ПР2.5, ПР2.8; пропорционально-интегральные (ПИ) – ПР3.21, ПР3.22, ПР3.23, ПР3.31; пропорционально-интегрально-дифференциальные (ПИД) – ПР3.25, ПР3.35, а также функциональные элементы, осуществляющие алгебраическое сложение, умножение и деление сигналов, – ПФ1.1, усиление, – П1.5, ограничение, – ПФ11.1, переключение и др. Использование регуляторов и элементов системы «Старт» позволяет создавать любые сложные регулирующие системы. В СТГВ их применяют для регулирования давления, температуры, уровня и других параметров, а в ряде случаев и в комбинации с элементами электрической ветви ГСП.

Гидравлические регуляторы применяются там, где требуется большая мощность или усилия. Они позволяют работать при отсутствии электроэнергии, так как применяются гидропневмоаккумуляторы.

Ранее уже отмечалось, что самостоятельную ветвь ГСП составляют регуляторы прямого действия, работающие без использования вспомогательной энергии. Эти регуляторы широко применяются при автоматизации СТГВ. Их достоинства – в автономности (не требуются источники питания), высокой надежности (минимальное число элементов), а также простоте изготовления, монтажа и ремонта.

3.5. Микропроцессорные регуляторы

В последнее время в АСР стала применяться вычислительная техника, на основе которой созданы программируемые микропроцессорные регуляторы «Ремиконт». Один такой регулятор может заменить несколько десятков обычных электрических регуляторов.

Например, «Ремиконт-100» заменяет 64 регулятора. Он имеет 64 входа для подключения измерительных устройств и столько же выходов для управления исполнительными механизмами.

Входным сигналом «Ремиконта» является постоянный ток, изменяющийся в диапазоне 0 – 20 мА (унифицированный сигнал ГСП). Поэтому измерительная цепь любого технологического параметра должна включать нормирующий преобразователь. Например, если регулируемый параметр – температура, то измерительная цепь составляется из термометра сопротивления и преобразователя НП-СЛ1-М (рис. 3.7, а) или из термопары и преобразователя НП-ТЛ1-М (рис. 3.7, б). При регулировании расхода измерительная цепь будет включать диафрагму и дифманометр с токовым выходом ДМ-Э (рис. 3.7, в) или ротаметр РЭД и преобразователь НП-ПЗ (рис. 3.7, г).



Рис. 3.7. Примеры измерительных цепей регулятора «Ремиконт»:
 а – с термометром сопротивления; б – с термопарой; в – с диафрагмой;
 г – с ротаметром

Применение «Ремиконта» не устраняет необходимости в приборах для регистрации регулируемых параметров. По этим приборам ведут настройку регуляторов, а также ручное дистанционное управление. Унификация входных сигналов «Ремиконта» позволяет использовать однотипные одно- и многоточечные приборы типа КСУ для измерения постоянного тока в диапазоне 0 – 20 мА.

Регулятор «Ремиконт» состоит из двух частей: собственно регулятора Р и пульта оператора ПО (рис. 3.8). Все логические операции в вычислительном устройстве ВУ регулятора выполняются в цифровой форме, поэтому входные аналоговые сигналы регулятора предварительно преобразуются в цифровые сигналы. Для этого служит аналого-цифровой преобразователь АЦП.

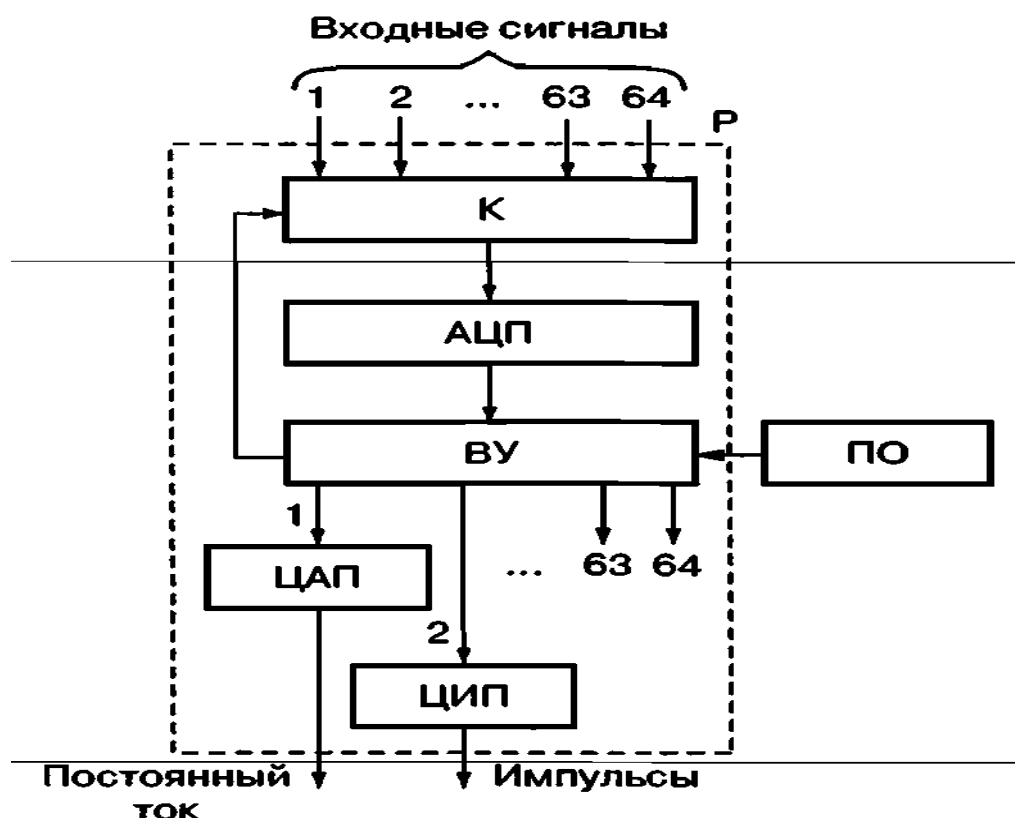


Рис. 3.8. Структурная схема регулятора «Ремиконт»: Р – регулятор; ПО – пульт оператора; ВУ – вычислительное устройство; К – коммутатор; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; ЦАП – цифроаналоговый преобразователь; ЦИП – цифроимпульсный преобразователь

Так как выходные сигналы вычислительного устройства также имеют цифровую форму, то для их преобразования в выходные аналоговые сигналы на выходе регулятора имеются преобразователи двух видов. Одни из них – цифроаналоговые (ЦАП) – преобразуют цифровой выходной сигнал вычислительного устройства в постоянный ток с диапазоном изменения 0 – 20 мА, другие – цифроимпульсные (ЦИП) – в электрические импульсы различной длительности.

Входные сигналы «Ремиконта» 1 – 64 поступают на коммутатор К, который поочередно подключает их к аналого-цифровому преобразователю. Частота работы коммутатора и очередность опроса входных сигналов вводятся оператором в вычислительное устройство с пульта оператора. Коммутатор подключает входные сигналы на короткие промежутки времени (десятки микросекунд). За это время входной сигнал обрабатывается в вычислительном устройстве по заданному закону регулирования и выдается на соответствующий выход регулятора. Таким образом, каждый вход и соответствующий ему выход относятся к одному контуру регулирования, а весь многоканальный регулятор представляет собой совокупность отдельных простых регуляторов.

В «Ремиконте» предусмотрен универсальный закон регулирования – ПИД-закон, из которого выбором коэффициентов при П-, И- и Д-составляющих можно получать любой требуемый для данной АСР типовой закон регулирования. Это производит оператор путем задания с пульта ПО требуемых коэффициентов для каждого канала многоканального регулятора.

«Ремиконт» позволяет также производить нелинейные преобразования сигналов (например, возведение в квадрат сигнала расхода мер переменного перепада давления), сигнализировать о превышении максимально допустимой величины рассогласования, организовывать связи между отдельными каналами для реализации комбинированных АСР. Все эти возможности «Ремиконта» оператор может реализовать путем ввода с пульта определенных команд.

Для повышения надежности многоканального регулятора в нем предусмотрено «горячее» резервирование: при возникновении неисправности в одном из каналов регулирования автоматически включается в работу резервный канал. Неисправность выявляется самим регулятором без участия оператора.

Применение коммутатора К позволило использовать для всех каналов один АЦП. На выходе «Ремиконта» коммутация сигналов не предусмотрена, и общее число ЦАП и ЦИП равно числу выходных цепей. Это связано с тем, что при использовании одного ЦАП или одного ЦИП пришлось бы применить специальные устройства для сохранения выходных сигналов на время, пока коммутатор подключается к другим выходам.

Цифроаналоговые выходные преобразователи предназначены для управления пневматическими исполнительными механизмами, которые подключают к выходу «Ремиконта» через электропневматический преобразователь ЭПП-63 и панель дистанционного управления (ПДУ).

Цифроимпульсные преобразователи предназначены для управления электрическими исполнительными механизмами (ЭИМ), которые подключают к выходу «Ремиконта» через тиристорные пускатели.

В регуляторе «Ремиконт» все операции с сигналами АСР (вычисление рассогласования, выработка регулирующего воздействия в соответствии с законом регулирования, выполнение математических операций и т. п.) производятся в цифровой форме. В этом случае говорят о непосредственном цифровом управлении процессом (НЦУ). Пульт оператора имеет клавиши с надписями, принятыми для регулирующих устройств. Это позволяет оператору общаться с регулятором на понятном ему языке.

3.6. Регулирующие органы и исполнительные механизмы

Регулирующий орган осуществляет регулирующее воздействие на объект изменением расхода вещества или энергии, подводимой к нему. Для изменения расхода жидкостей, газов и паров применяют дроссельные регулирующие органы. Основной характеристикой дроссельного регулирующего органа как элемента АСР выступает его статическая характеристика – зависимость расхода через регулирующий орган от степени его открытия.

Для регулирующего органа предпочтительна линейная статическая характеристика, так как только в этом случае не искажается закон регулирования, формируемый регулятором в АСР. Однако, как указывалось выше, расход через дроссельный регулирующий орган зависит еще и от перепада давлений, который в технологическом процессе может изменяться с изменением расхода. Поэтому статическая характеристика регулирующего органа, линейная при постоянном перепаде давлений, может оказаться нелинейной в реальных условиях.

Чтобы избежать этого, применяют клапаны не только с линейными, но и нелинейными характеристиками при постоянном перепаде давлений. Таким образом удастся скомпенсировать нелинейность статической характеристики регулирующего органа, обусловленную переменным перепадом давлений.

Для дроссельных регулирующих органов необходимая статическая характеристика наиболее просто может быть получена у регулирующего клапана. В настоящее время промышленность выпускает регулирующие клапаны с линейной, логарифмической и параболической характеристиками, причем клапаны с различными характеристиками отличаются лишь формой плунжера.

Кроме статической характеристики, регулирующий клапан характеризуется его пропускной способностью – расходом воды через полностью открытый регулирующий орган при перепаде давлений 10^5 Па. Этот расход указывается в паспортных данных регулирующего органа вместе с другими его показателями – условным давлением, допустимой температурой и т. п.

Регулирующий орган выбирают по пропускной способности ввиду требуемой статической характеристики, а также исходя из условий его эксплуатации: свойств протекающей среды, температуры и давления в трубопроводе.

Для трубопроводов небольшого диаметра (до 25 мм) применяют односедельные регулирующие клапаны, большого диаметра – двухседельные. В тех случаях, когда условия эксплуатации не позволяют применять регулирующие клапаны, используют диафрагменные клапаны сильноагрессивных жидкостей. Диафрагмы в таких клапанах изготавливают из кислотостойкой резины, фторопласта и других материалов, стойких по отношению к протекающей среде, а внутреннюю поверхность корпуса покрывают фторопластом или эмалью.

Исполнительный механизм преобразует выходной сигнал регулятора в перемещение регулирующего органа. Исполнительные механизмы делятся на пневматические, гидравлические и электрические, наибольшее применение получили пневматические и электрические исполнительные механизмы.

Обычно пневматические исполнительные механизмы применяют для управления регулирующими клапанами и их выпускают как одно устройство – пневматический регулирующий клапан.

Электрические исполнительные механизмы должны обеспечивать перемещение регулирующего органа по командам, поступающим от электрического регулятора при автоматическом управлении, или от оператора – при ручном дистанционном управлении. При поступлении команды исполнительный механизм перемещается с постоянной скоростью. Однако благодаря импульсному режиму работы средняя скорость выходного вала исполнительного механизма оказывается переменной.

3.7. Вопросы и задания для самопроверки

1. Что характеризует статическая характеристика объекта управления?
2. Охарактеризуйте динамические свойства объекта.
3. Как различают объекты управления по реакции на одиночное ступенчатое воздействие?
4. Какие причины могут вызвать инерционность отклика объекта управления?
5. Какие недостатки П-закона регулирования вы можете назвать?
6. Назовите недостатки ПД-закона регулирования.
7. Перечислите основные динамические оценки качества регулирования.
8. В чем отличие регуляторов прямого и непрямого действия?
9. Какие основные недостатки и преимущества электрических, пневматических и гидравлических регуляторов можно перечислить?
10. Опишите принцип работы микропроцессорного регулятора.

ГЛАВА 4




ГРАФИЧЕСКОЕ ОБОЗНАЧЕНИЕ СХЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТИПОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

4.1. Графическое оформление схем автоматизации

Основным техническим документом, показывающим связи между инженерной системой (технологическим процессом) и средствами контроля и управления, является функциональная схема автоматизации, на которой с помощью условных изображений схематически показывают технологическое оборудование, трубопроводы и средства автоматизации. Технологическое оборудование и трубопроводы автоматизируемого объекта изображают на функциональной схеме упрощенно. Направление движения потоков в трубопроводах указывают стрелками. На линиях обрыва также ставят указывающие стрелки и дают необходимые пояснения, из какого аппарата и к какому направляется данный поток.

Условные обозначения средств автоматизации на функциональных схемах элементов измерительной цепи, регуляторов и станций управления, а также исполнительных механизмов приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1
Условное обозначение средств автоматизации

Название	Обозначение
Датчик, промежуточный преобразователь, измерительный прибор, регулятор, магнитный или тиристорный пускатель и другие устройства, установленные на аппарате, трубопроводе или около них	
Промежуточный преобразователь, измерительный прибор, регулятор, кнопка, переключатель и другие устройства, установленные на щите управления	
Исполнительный механизм (пневматический, электрический)	

В верхнюю половину окружности, обозначающей элемент измерительной цепи или регулятор, сначала записывают обозначения из-

меряемых или регулируемых параметров (табл. 4.2) и, если это необходимо, их уточнение (табл. 4.3), а затем – обозначения основных функций, выполняемых этим устройством (табл. 4.4). В табл. 4.5 приведены некоторые дополнительные обозначения, применяемые для конкретизации основных обозначений, входящих в табл. 4.4. Эти обозначения приводят на функциональной схеме справа от обозначения устройства.

Таблица 4.2

Условное обозначение параметров

Название	Обозначение	Название	Обозначение
Давление, разрежение	P	Влажность	M
Уровень	L	Состав, концентрация	Q
Расход	F	Несколько разнородных параметров	U
Температура	T	Электрическая величина	E
Плотность	D	Время	K
Вязкость	V	Положение, перемещение	G

Таблица 4.3

Условное обозначение уточнений параметров

Название	Обозначение	Название	Обозначение
Разность, перепад	D, d	Интегрирование	Q, g
Соотношение	F, f	Автоматическое переключение	J

Таблица 4.4

Условное обозначение основных функций средств автоматизации

Название	Обозначение
Показание	I
Регистрация	R
Регулировка, управление	C
Дистанционное управление с помощью устройства, встроенного в измерительный прибор (например, станции управления)	K
Дистанционное управление с помощью отдельного (не встроенного в прибор или регулятор) устройства (например, кнопкой, ключом управления, задатчиком)	H
Преобразование измеряемого параметра (выходной сигнал датчика)	E
Дистанционная передача показаний	T
Преобразование сигнала (например, пневматического в электрический), выполнение вычислительных функций (например, извлечение корня)	Y
Сигнализация	A
Включение, отключение, переключение	S

Таблица 4.5

Условное обозначение дополнительных функций средств автоматизации

Название	Обозначение	Название	Обозначение
Верхнее предельное значение параметра	H	Извлечение корня	$\sqrt{}$
Нижнее предельное значение параметра	L	Передача сигнала на ЭВМ	B_i
Электрический сигнал	E	Вывод информации с ЭВМ	B_o
Пневматический сигнал	P		

Рассмотрим несколько примеров использования условных обозначений. На рис. 4.1, *а* изображен датчик E температуры T . Это может быть, например, термopapa, термометр сопротивления, термобаллон манометрического термометра и т. п.; на рис. 4.1, *б* – установленный на щите прибор для измерения температуры T , показывающий I и регистрирующий R ; на рис. 4.1, *в* – такой же прибор со встроенным в него регулятором C и укомплектованный панелью дистанционного управления HC .

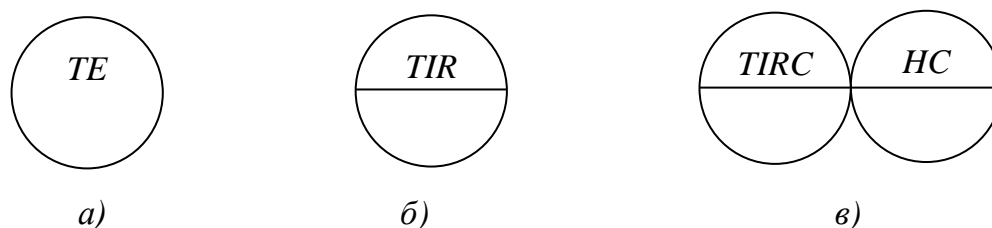


Рис. 4.1. Условные изображения на функциональных схемах средств измерения и регулирования температуры: *а* – датчик температуры; *б* – показывающий и регистрирующий прибор; *в* – показывающий и регистрирующий прибор с регулятором, укомплектованный панелью дистанционного управления

На рис. 4.2, *а* показан датчик E расхода F , например, диафрагма расходомера переменного перепада давлений или бак расходомера переменного уровня; на рис. 4.2, *б* – промежуточный преобразователь T расходомера F . Это может быть дифманометр, преобразующий перепад давления на диафрагме (в первом случае) или давление столба жидкости в баке (во втором) в пневматический или электрический промежуточный сигнал. Однако это может быть и ротаметр с дистанционной передачей, у которого преобразователь смонтирован в одном корпусе с датчиком (поплавком). На рис. 4.2, *в* изображен прибор, показывающий I и регистрирующий R величину расхода F , со встроен-

ной станцией управления K . Вместе с прибором на щите установлен регулятор расхода FC .

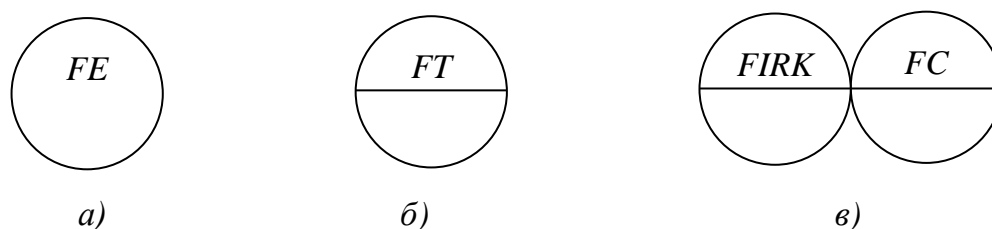


Рис. 4.2. Условные изображения на функциональных схемах средств измерения и регулирования расхода: а – датчик расхода; б – датчик расхода, снабженный промежуточным преобразователем, либо промежуточный преобразователь; в – показывающий и регистрирующий прибор со встроенной станцией управления и регулятор расхода

Обычно все устройства, относящиеся к одной измерительной или регулирующей цепи, обозначают индексом с одинаковой цифрой, но разными буквами. Эти обозначения располагают в нижней половине окружности, изображающей устройство, или около исполнительного механизма. В случаях, когда несколько элементов выпускают в виде одного устройства (например, мембранный исполнительный механизм с регулирующим клапаном), им присваивают одно общее обозначение.

На рис. 4.3 приведен пример функциональной схемы автоматизации нагрева паром воды в теплообменнике. Как видно из приведенной схемы, она содержит один контур регулирования температуры воды $5a - 5e$. Остальные устройства предназначены для измерения расхода пара $1a - 1b$, расхода воды $4a - 4b$, температуры воды и пара на входе в теплообменник $3a - 3b$. Кроме того, предусмотрена сигнализация при падении давления пара 2.

Расположение элементов автоматизации на функциональной схеме определяется их значением. Условные обозначения датчиков, промежуточных преобразователей, объединенных с датчиками в одно устройство, и исполнительных механизмов, т. е. всех элементов АСР, механически связанных с технологическими аппаратами и трубопроводами, помещают рядом с изображением соответствующего оборудования ($1a$, $3a$, $3b$, $4a$, $5a$, $5e$). Более того, условные обозначения датчиков и промежуточных преобразователей расходомеров, через которые проходят технологические потоки, размещают прямо на изображениях трубопроводов, в которых измеряются расходы ($1a$ и $4a$). Всю

остальную аппаратуру – преобразователи, измерительные приборы, регуляторы и органы управления – выносят в нижнюю часть схемы. При этом вдоль листа вычерчивают прямоугольники, условно изображающие щиты и пульты. В этих прямоугольниках группируют аппаратуру по принципу общности расположения. Например, все преобразователи и приборы, расположенные рядом с местом измерения, т. е. смонтированные не на оборудовании, а на стенах здания, колоннах, на полу и т. п., располагают в одном прямоугольнике (1б, 2). В другом прямоугольнике расположены условные обозначения аппаратуры автоматизации, размещенной на щите управления процессом (1в, 3в, 4б, 5б, 5в, 5г, 5д).

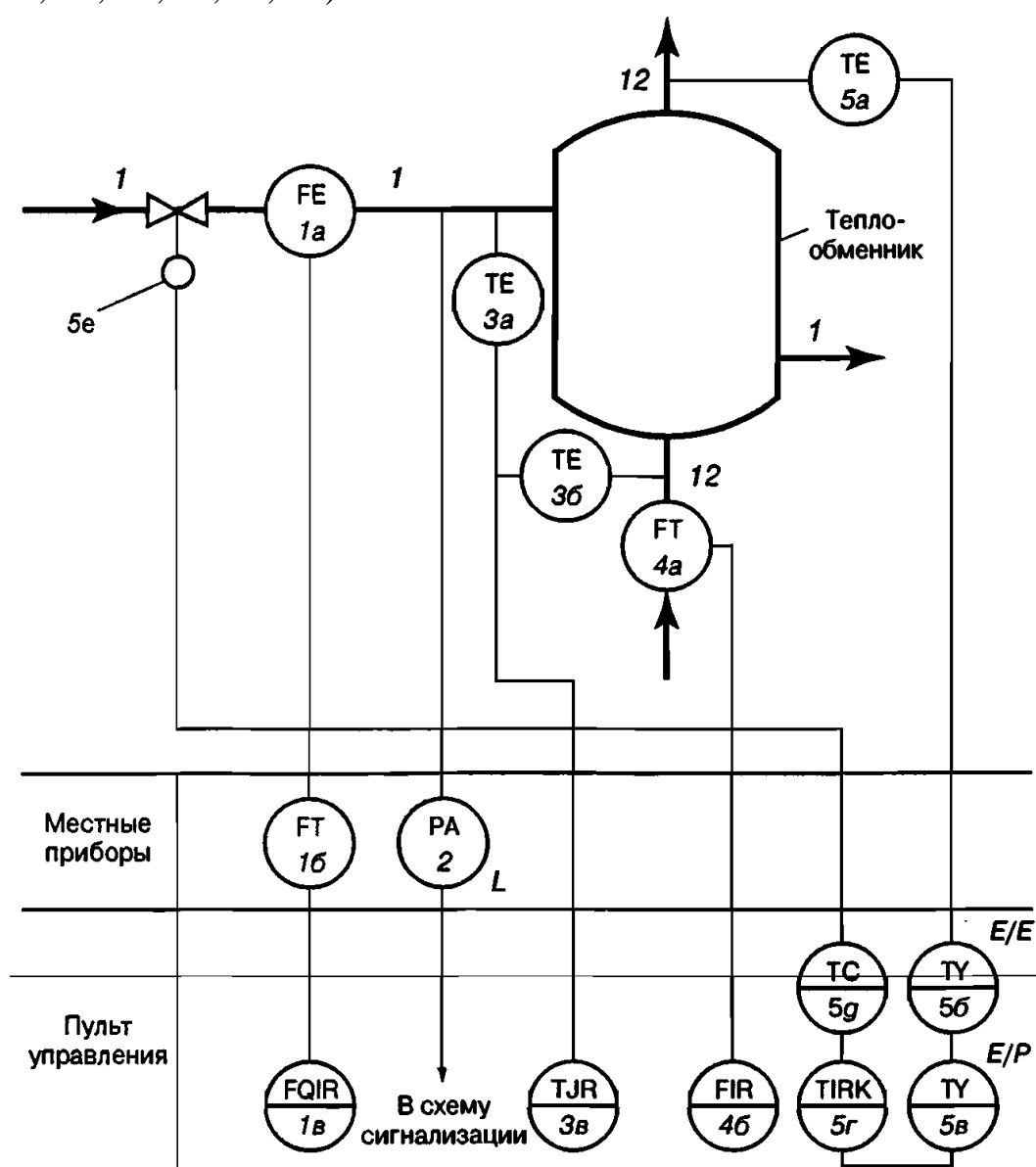


Рис. 4.3. Функциональная схема автоматизации процесса нагревания воды в теплообменнике

Поскольку функциональная схема автоматизации предназначена для отражения только структуры системы управления, в ней не расшифровываются технические средства, использованные в конкретной схеме. Поэтому, например, в АСР температуры воды датчиком температуры (5а) может быть термopара или термометр сопротивления. Тогда следующим преобразователем (5б) в первом случае будет нормирующий преобразователь ЭДС в ток (типа НП-ТЛ-1М), а во втором – электрического сопротивления в ток (типа НП-ТС-1М). Нельзя определить по функциональной схеме также систему дистанционной передачи сигналов. Например, если для измерения расхода воды использовали ротаметр (4а) с электрической дистанционной передачей (типа РЭД), то измерительным прибором (4б) будет прибор для измерения напряжения переменного тока (типа КСД); с ротаметром, имеющим пневматическую дистанционную передачу (типа РПД), используют прибор для измерения давления сжатого воздуха (типа ПВ). То же относится к средствам регулирования, сигнализации и т. п.

Расшифровка элементов автоматизации, изображенных на функциональной схеме, дается в спецификации, которая составляется для заказа этой аппаратуры на заводах-изготовителях. В этой спецификации по каждой позиции указываются тип устройства, его модификация, пределы измерения, требуемое количество и другие необходимые сведения.

4.2. Вопросы и задания для самопроверки

1. Расскажите, как изображается датчик расхода по одному параметру.
2. Как отображается датчик температуры с индикацией, регистрацией и регулятором?
3. Как обозначается показывающий и регистрирующий прибор со встроенной станцией управления и регулятором расхода?
4. Как изображаются приборы с преобразованием сигнала?

ГЛАВА 5

ДИСТАНЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ И ОСНОВЫ ТЕЛЕМЕХАНИКИ

5.1. Назначение систем дистанционного управления и телемеханики

Под **дистанционным управлением** понимают ручное управление на расстоянии регулирующими и запорными органами или отдельными механизмами, осуществляемое гидравлическим, пневматическим или электрическим способом. В СТГВ наибольшее распространение имеет электрическое дистанционное управление. В этом случае электродвигатель или электромагнит монтируют на регулирующем органе, а аппарат управления электродвигателем располагают на некотором расстоянии от него в пункте, удобном для обслуживающего персонала. Дистанционное управление механизмами осуществляется на расстоянии от десятков до сотен метров. Так, например, включается электродвигатель насоса с помощью магнитного пускателя. С увеличением расстояния переходят к использованию средств телемеханики, позволяющих по малому числу линий связи передавать большое число команд.

Телемеханика – это область техники, охватывающая теорию и практику устройств передачи информации и управления на расстояние. В ряде случаев телемеханические системы дополняют системы автоматического управления и совместно решают общие задачи автоматизации технологических процессов.

Системы телемеханики выполняют три основные функции: телеизмерение, телеуправление и телесигнализацию.

Телеизмерение осуществляется с помощью систем ближнего действия (на расстояниях до 15 км) и систем дальнего действия (на расстояниях до сотен километров). В системах ближнего действия, основанных на методе интенсивности, контролируемая величина преобразуется в значение силы тока или напряжения, передаваемого по линии связи, а в системах дальнего действия – передается в виде импульсов постоянного тока или изменяющейся частоты переменного тока с помощью модема в диапазоне УКВ.

Телеуправление и телесигнализация осуществляются многоканальными системами ближнего действия или системами дальнего действия с малым числом каналов связи. В этих системах используются одинаковые способы передачи сигналов и одни и те же устройства, при этом сигналы управления и информационные сигналы зашифровываются на диспетчерском пункте с помощью специальных шифраторов и поступают в передатчик, посылающий в линию связи импульсы электрического тока определенного вида (код). Эти импульсы на приемном пункте воспринимаются специальным устройством и расшифровываются дешифратором, передающим полученный сигнал в схему управления тем или иным механизмом.

В системах телеуправления и телесигнализации используются следующие качественные признаки импульсов тока: полярность, амплитуда, продолжительность импульса, частота переменного тока.

В СТГВ системы телеизмерения применяют для передачи значений технологических параметров на диспетчерский пункт. К таким параметрам относятся расходы подаваемой насосами жидкости; давление в основных точках сети, характеризующее ее состояние; уровень воды в резервуарах, определяющих запас воды и режим работы станций; сила тока в цепях приводных электродвигателей, характеризующая нагрузку насосов; напряжение в электрических сетях, определяющее режим работы электрооборудования, и др.

Системы телеуправления используют для пуска и останова на расстоянии (из диспетчерского пункта) насосных агрегатов, включения и отключения коммутационных устройств электросети, включения и отключения воздуходувок, дробилок и др. Возможность осуществления этих операций на расстоянии позволяет диспетчеру без помощи дежурного персонала быстро вводить в действие или выводить из работы соответствующие агрегаты как в условиях нормальной эксплуатации, так и при аварии с целью ее локализации.

Телесигнализация используется для автоматической передачи сигналов о состоянии насосных агрегатов, задвижек, фильтров, дробилок и других агрегатов сооружений. На мнемосхеме, находящейся на щите диспетчерского пункта, непрерывно указываются состояние оборудования агрегатов, а также изменение значений параметров. Это позволяет диспетчеру легко ориентироваться при выполнении оперативных переключений, особенно во время аварий.

5.2. Методы и средства телеизмерения

Особенность телеизмерения заключается в том, что измеряемая величина до ее передачи преобразуется в другую величину, удобную для передачи без искажений на расстояние. На диспетчерском пункте происходит обратное преобразование поступившего сигнала в измеряемую величину. Поэтому отличие одного метода телеизмерения от другого состоит, в сущности, в способе преобразования сигналов при их передаче.

Для передачи сигналов на небольшие расстояния в системах ближнего действия применяется метод интенсивности, по которому измеряемая величина передается путем изменения интенсивности тока или напряжения в канале связи. Для снижения потерь энергии в линии передача сигналов производится при малых значениях силы тока и напряжения. Передачу целесообразнее вести на постоянном токе, поскольку при этом такие параметры линии, как индуктивность и емкость проводов, не сказываются на уровне сигнала.

В системах дальнего действия применяют методы импульсной и частотной передачи сигнала, в которых измеряемая величина преобразуется в импульсы постоянного тока либо в переменный ток меняющейся частоты, в результате чего изменения сигнала, возникающие в канале связи, не вносят искажений в величину измеряемого параметра.

Увеличения количества передаваемых сигналов электрического тока добиваются применением различных способов их модуляции

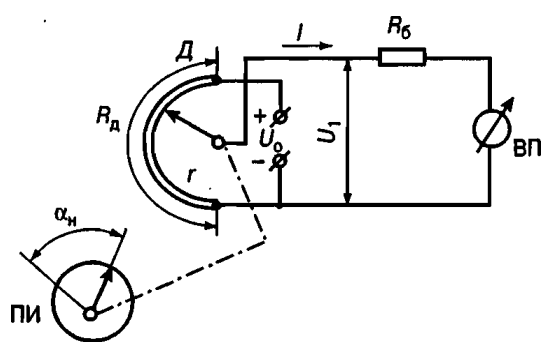


Рис. 5.1. Схема двухпроводной телеизмерительной системы с реостатным датчиком

(амплитудной, частотной, временной и числовой). При выборе конкретного способа модуляции учитывают сложность преобразования сигнала и условия его передачи на расстояние. Чаще других используют две схемы телеизмерения.

Первая из них — **телеизмерительная схема интенсивности тока** ближнего действия с реостатным датчиком Д (рис. 5.1) —

основана на использовании перемещения ползунка ПИ-реостата R измерительным прибором одновременно со стрелкой на угол α_n . Изме-

нения тока в линии связи, пропорциональные измеряемой величине, фиксируются вторичным прибором ВП. Для уменьшения влияния изменения сопротивления линии связи включается балластное сопротивление, значительно превышающее сопротивление проводов. Поскольку для передвижения ползунка реостата необходимо большое усилие, данная схема чаще всего применяется при телеизмерении расходов, давления и уровня. Это связано с тем, что измерительные приборы, контролирующие перечисленные параметры, развивают значительные вращающие моменты.

Вторая схема **время-импульсного телеизмерения** (рис. 5.2) дальнего действия основана на посыле сигналов в виде импульсов определенной продолжительности или на использовании пауз разной продолжительности между двумя импульсами.

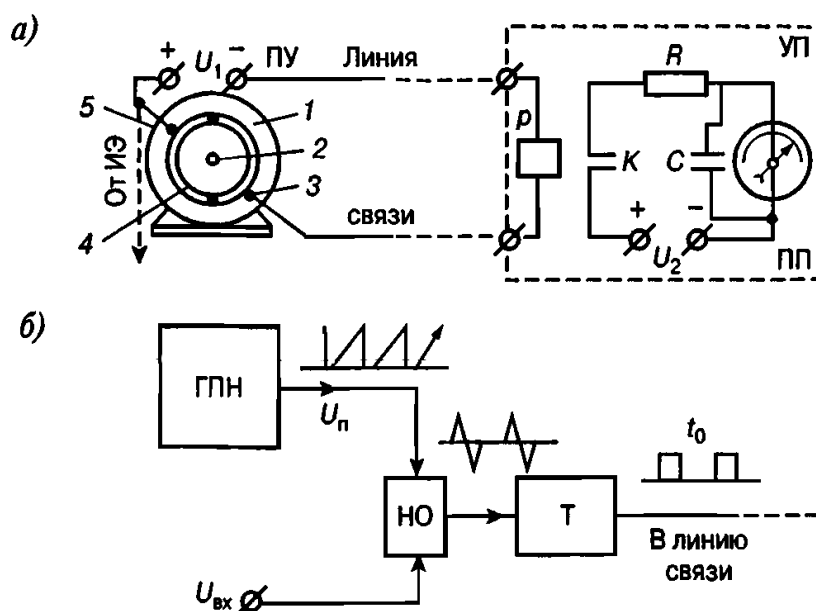


Рис. 5.2. Время-импульсная схема телеизмерения: а – разрез электрической схемы; б – схема реле приемного устройства

В этой схеме передающее устройство ПУ представляет собой синхронный двигатель 1, на вал 2 которого насажены два медных полукольца 3, изолированных от вала и друг от друга. К полукольцам прикасаются две металлические или графитовые щетки, одна из которых 4 неподвижна, а другая 5 имеет кинематическую связь с измерительным прибором ИЭ. К щеткам линии связи подключено реле Р приемного устройства УП, использующего миллиамперметр ПП магнитоэлектрической системы.

В процессе работы синхронный двигатель непрерывно вращается с постоянной скоростью. Когда щетка 5 находится в одной плоскости со щеткой 4 (как показано на рис. 5.2), вращающиеся полукольца 3 не могут замкнуть цепь питания линии связи от сети с напряжением U_1 , т. е. линия связи обесточена. С отклонением измеряемого параметра щетка 5 перемещается по полукольцу 3 к щетке 4. В связи с этим в линию связи посылаются импульсы продолжительностью, пропорциональной степени перемещения щетки 5 или величине параметра.

Реле приемного устройства при замыкании своих контактов посылает к прибору импульсы напряжением U_2 такой же продолжительности, как и импульсы в линии связи. Шкала прибора, измеряющего среднее значение импульсов тока, градуируется в единицах измеряемой величины. Сопротивление R приемного устройства ограничивает ток в цепи прибора, а конденсатор C выполняет роль фильтра.

5.3. Методы и схемы телеуправления и телесигнализации

Управление любыми протяженными объектами практически невозможно без контроля их состояния, в связи с чем функции телеуправления и телесигнализации в СТГВ осуществляются общими средствами телемеханики. Принятые при этом схемы отличаются в основном методом избирания в приеме и расшифровке сигналов, которые передаются параллельно и последовательно во времени. Первый способ связан с качественным и комбинационным методами избирания, второй – с распределительным и комбинационно-распределительным.

В зависимости от методов избирания различают **многопроводные** и **малопроводные схемы**, которые по виду отдельной передачи сигналов и устройству линий связи делят на три группы. Многопроводные схемы с разделением сигналов (рис. 5.3, а) обычно применяют при сравнительно небольших расстояниях между диспетчерским пунктом и объектом управления.

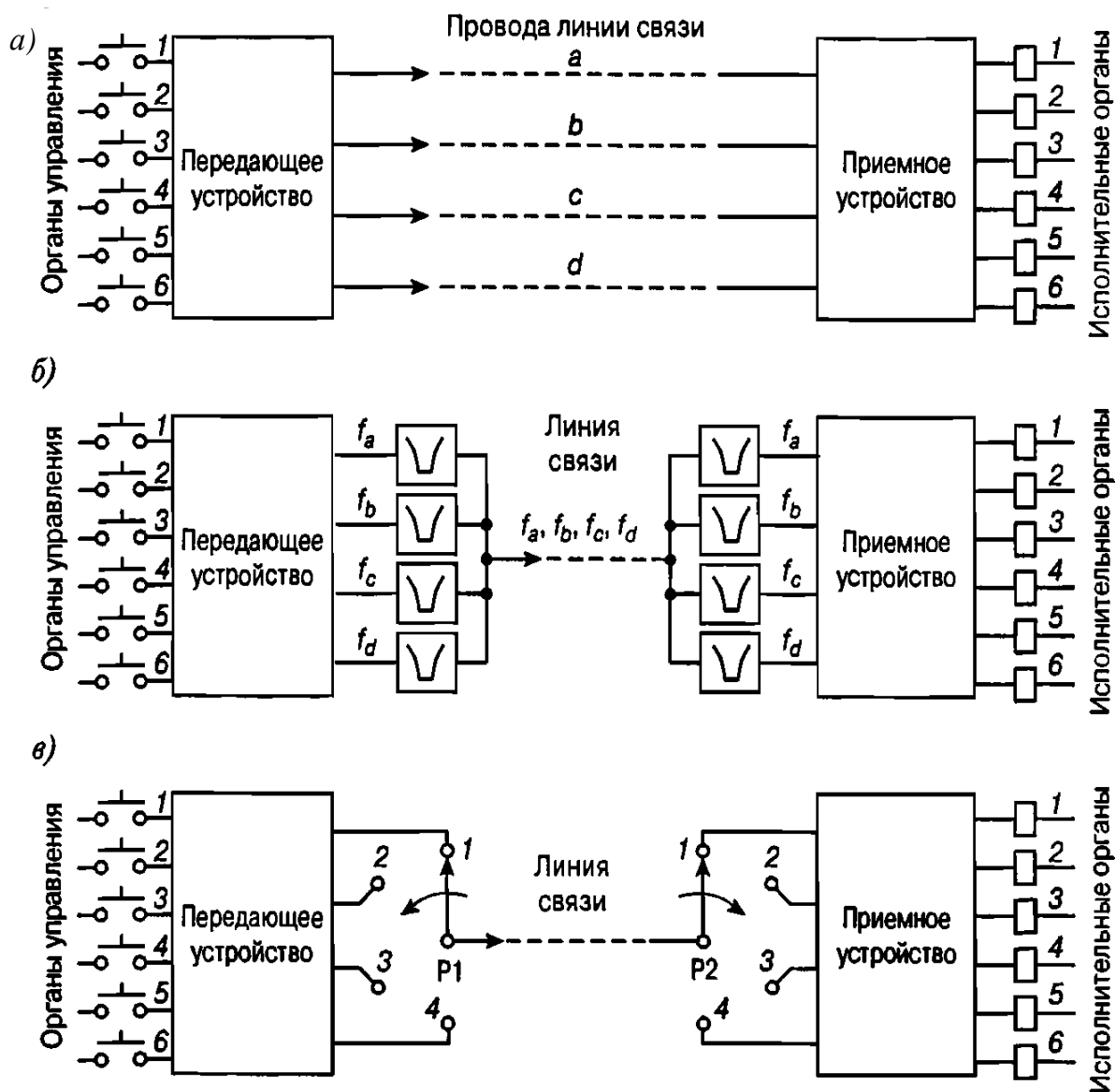


Рис. 5.3. Принципиальная схема устройства телеуправления

При наличии n -го количества самостоятельных проводов (не считая провод питания) по такой линии связи можно передать сигналы $N = Kn$, где K – число импульсных признаков; обычно $K = 2 - 4$.

Таким образом, в многопроводных схемах для каждого импульса имеется отдельный канал (провод), и поэтому все импульсы могут передаваться одновременно. Для разделения импульсов управления и сигнализации применяется амплитудный признак, в соответствии с которым ток импульса управления в несколько раз превышает ток импульса сигнализации.

В малопроводных схемах с частотным разделением сигналов (рис. 5.3, б) последние передаются по одной линии связи за счет использования импульсов разной частоты f_a, \dots, f_d . В передающей части этих систем имеется генератор синусоидальных колебаний разной частоты, а в приемной части сигналы разделяются с помощью полосовых фильтров. Для увеличения числа передаваемых сигналов часто применяют передачу каждого сигнала на двух частотах с соответствующей их комбинацией.

В малопроводных схемах с временным разделением сигналов (рис. 5.3, в) последние передаются по одной линии связи с поочередным посылом импульсов тока с помощью распределителей. В качестве распределителей Р1 и Р2 применяются переключатели, приводимые в действие электродвигателями, электромагнитные шаговые реле и катодные переключатели. Два синхронно работающих распределителя одновременно подключают линию связи к соответствующим передающему и приемному устройствам схемы.

5.4. Промышленные схемы телемеханики

Задачи контроля и управления протяженными объектами обычно решаются с помощью серийных систем телемеханики общепромышленного назначения. Для различных объектов промышленностью выпускается целый ряд унифицированных устройств телемеханики.

В практике эксплуатации СТГВ хорошо зарекомендовали себя телемеханические устройства БТЦ, основанные на распределительном методе избирания. Распределитель в этих устройствах построен на феррит-транзисторных элементах, состоящих из магнитных деталей и полупроводниковых триодов.

Полярно-амплитудное разделение сигналов положено в основу телемеханических схем управления насосными станциями артезианского водоснабжения. Телемеханические устройства этих схем позволяют передавать с диспетчерского пункта на насосную станцию следующие команды телеуправления: «Пустить насос», «Остановить насос», «Включить контактный манометр» и «Отключить контактный манометр». На диспетчерский пункт с насосной станции передаются

сообщения телесигнализации: «Насос работает», «Насос не работает», «Произошла авария», «На станции нет электроэнергии», «На станции посторонние люди», а также сигналы двустороннего вызова телефонного разговора. С помощью электроконтактного манометра осуществляется телеизмерение давления в напорных водоводах и ряде точек водопроводной сети.

На насосной станции импульсы управления воспринимаются схемой автоматики, которая осуществляет пуск и останов насосов в заданной последовательности, защиту оборудования, включает резервное питание и резервный насос. Пуск и останов агрегата производятся автоматически по сигналу датчика или диспетчером с помощью телеуправления. Цепи автоматики и телемеханики электрически не связаны и питаются от разных источников тока.

За счет применения тока разной полярности, разной величины и передачи сигналов по двум каналам связи (по одной паре телефонных проводов и земле) схема позволяет передавать и принимать восемь основных и два неосновных сигнала.

В СТГВ применяется также серийное время-импульсное устройство телемеханики типа УТБ, которое используют при различном расположении объектов (последовательном, радиальном) по отношению к диспетчерскому пункту.

Бесконтактная система с временным разделением сигналов типа ТМЭ позволяет обслуживать 5 – 40 объектов управления, 14 – 40 объектов сигнализации и 6 – 28 объектов измерения. Основными аппаратными блоками этой системы являются распределители на магнитных элементах, которые поочередно синхронно и синфазно подключают к линии связи электрические схемы на диспетчерском пункте управления. Введенная в систему защита от исполнения ложных команд обеспечивает ее высокую надежность.

В последние годы разработаны комплекты унифицированных устройств телемеханики в малогабаритном блочно-модульном исполнении. Начался выпуск средств телемеханики на базе микропроцессоров, разработаны системы телеавтоматики с выводом оперативной информации на ЭВМ. Так, комплекс средств телеавтоматики типа

КЭТ обеспечивает телеизмерение, телеуправление и телесигнализацию с 48 контрольными пультами; дальность действия – до 30 км; вывод информации на телетайп и сопряжение с ЭВМ верхнего уровня.

Аппаратно-программный телеметрический комплекс (АПТК) «Телур» предназначен для диспетчерского контроля и управления пространственно-разнесенными объектами производственного назначения. АПТК «Телур» может входить в состав **автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП)**. Комплекс состоит из оборудования, устанавливаемого на контролируемых пунктах (КП) – ОКП, и оборудования, устанавливаемого на пунктах управления (ПУ), или диспетчерских пунктах (ДП) – ОПУ. Связь между ОКП и ОПУ осуществляется по радиоканалу, проводным каналам, ТЧ- и ВЧ-каналам.

Оборудование ПУ взаимодействует с управляющим персональным компьютером (ПК). На ПК диспетчерского пункта функционирует программа, обеспечивающая управление работой АПТК и являющаяся неотъемлемой частью комплекса. Для АПТК «Телур-ТМ» управляющей программой служит программа верхнего уровня «Викинг» версии не ниже 1.3.x.x.

АПТК осуществляет сбор и обработку аналоговых и дискретных данных от датчиков, установленных на КП, а также передачу их по каналам связи в ПУ с последующим отображением в программе «Викинг». АПТК также осуществляет передачу команд телеуправления исполнительными реле телемеханики и команд-инструкций, формируемых программой «Викинг», в обратном направлении, т. е. от ПУ к КП. Обработка результатов, их визуализация и архивирование производятся на ПЭВМ в центральном диспетчерском пункте (ЦДП).

АПТК «Телур» допускает организацию радиально-древовидной структуры с комбинированными каналами связи. На рис. 5.4 представлена общая структура такой сети. Оборудование АПТК «Телур» позволяет создавать сети передачи информации различной конфигурации, в том числе с использованием ретрансляторов (РТР). В качестве ретранслятора может быть использован любой КП, при этом стандартные функции КП сохраняются.

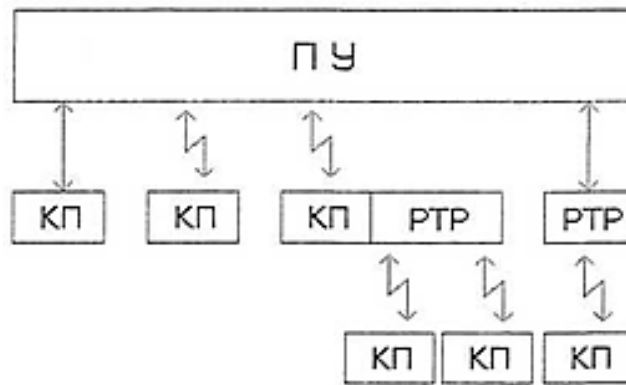


Рис. 5.4. Пример структуры сети

Состав оборудования АПТК. Оборудование ЦДП состоит:

- из радиомодема (БПП) – «Телур-РМ» (ТУ 4035-001-111575297; СТИУ 464418.002 ТУ);
- антенно-фидерного устройства – АФУ ПУ (ТУ 4232-001-1115752-97; СТИУ 424350.002 ТУ);
- промышленного шкафа ST4-625, в котором установлены блоки БСП, БПП;
- блока согласования с управляющей ПЭВМ – БСП (СТИУ 424470.001 ТУ);
- управляющей ПЭВМ и источника бесперебойного питания (ИБП).

Управляющая ПЭВМ и ИБП не входят в стандартную комплектацию и поставляются по специальному заказу. Вариант оборудования ПУ представлен на рис. 5.5.

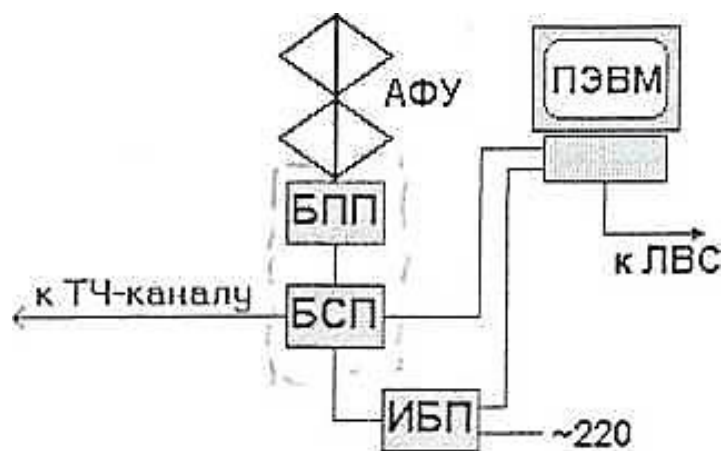


Рис. 5.5. Оборудование пункта управления

Принцип действия АПТК. В системе реализованы следующие режимы работы: адресный запрос состояний КП; адресный запрос архива КП; спорадический режим.

На рис. 5.6 представлена временная диаграмма, поясняющая режим обмена. Далее определены основные понятия, отраженные на рис. 5.6. Основные технические характеристики комплекса указаны в таблице.

Состояния – телеметрическая информация, свидетельствующая о нормальном функционировании системы и поступающая по адресному запросу.

События – телеметрическая информация, свидетельствующая о нештатных или существенных моментах функционирования системы.

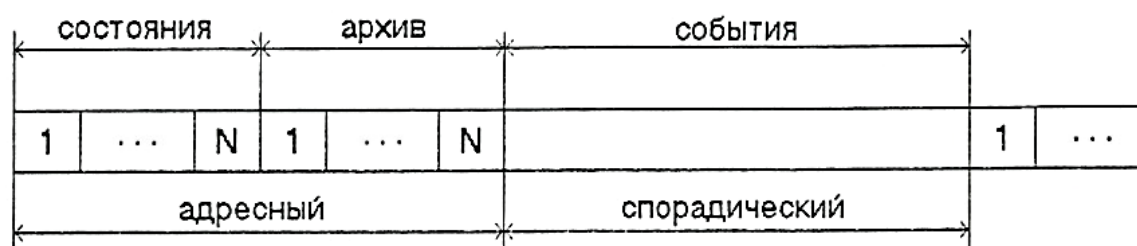


Рис. 5.6. Временная диаграмма АПТК

К событиям относятся выходы ТИТ (телеизмерения текущие) за пределы уставок и возвращение к нормальному состоянию, изменение значения ТИТ на величину, большую апертур, а также изменение состояния, вызванное срабатыванием датчика ТС (телесигнализации).

События передаются по мере их возникновения по возможности немедленно. Передача событий сопровождается отправкой квитанции от ПУ в КП. Если по каким-либо причинам события не получены в ПУ (отсутствует квитанция), они переводятся в архив; т. е. если спорадическое сообщение не было принято, в следующем адресном опросе КП сообщит о наличии непрочитанного архива. Тогда перед началом спорадического режима программа верхнего уровня (ПВУ) запросит архивы событий со всех КП, на которых они есть. События передаются как по запросу, так и в спорадическом режиме, но в отличие от состояний требуют квитанции. Все события сопровождаются

временными метками, синхронизированными с часами ПУ. Сигналы коррекции часов передаются во время запроса состояний.

Технические характеристики комплекса

№ п/п	Наименование характеристики	Значение
1	Максимально допустимое число КП в системе	255
2	Максимально допустимое количество ретрансляторов	255
3	Максимальное количество КП, подключенных к одному ретранслятору	12
4	Максимальное число ретрансляторов в цепочке	1
5	Основной вид канала связи Дополнительные каналы связи	УКВ-радиоканал канал ТЧ канал ВЧ Цифровой канал
6	Скорость передачи по каналу связи	2400 бит/с
7	Скорость обмена данными между БСП и ПЭВМ	9600 бит/с
8	Максимальное количество дискретных и аналоговых вводов на КП	256
9	Максимальное количество объектов двухпозиционного управления на КП	64
10	Выходные сигналы датчиков ТИТ	Токовые 0 – 5 мА, Токовые 0 – 20 мА
11	Количество двоичных разрядов аналого-цифрового преобразования сигналов ТИТ	10
12	Тип датчиков ТС	«Сухой контакт»
13	Вероятность необнаруженной ошибки приема информации	Не более 10^{-9}
14	Вероятность правильного приема информации при отношении «сигнал/шум» не менее 10 дБ и уровне сигнала на входе приемника не менее 0,5 мкВ	Не менее 0,9999
15	Максимальное время ответа на адресный запрос: – без ретрансляции – при использовании ретранслятора	1,8 с 3,5 с

Команда телеуправления может быть подана в любой момент времени. При подаче одиночной команды телеуправления центр передает команду на объект, получает квитанцию о приеме команды, ожидает завершения выполнения команды и запрашивает её результат. При подаче групповой команды передача следующей команды

возможна только после выполнения предыдущей, на это время опрос приостанавливается.

Программа «Викинг» является неотъемлемой частью аппаратно-программного телеметрического комплекса (АПТК) «Телур». Она обеспечивает основные функции по управлению работой комплекса, производит сбор и обработку телеметрической информации.

Программа осуществляет следующие функции:

- конфигурирование АПТК;
- обмен сигналами управления и данными телеизмерений между ПЭВМ и блоком БСП АПТК;
- обработку принятой телеметрической информации;
- редактирование параметров датчиков, установленных на КП;
- визуализацию принятой телеметрической информации в табличной форме, в виде графиков и на мнемосхеме;
- математическую обработку данных телеизмерений (вычисление средних значений, определение фактов превышения уставок и т. д.);
- цветное и звуковое оповещение дежурного оператора об аварийных и предаварийных ситуациях;
- ведение электронного «журнала событий»;
- разделение пользователей по уровням доступа;
- подачу команд ТУ с мнемосхемы и из таблицы;
- подачу одиночных, групповых и широковещательных команд телеуправления как вручную, так и по заданному расписанию.

Система «Телур» состоит из набора объектов, или контролируемых пунктов, КП (насосных станций, точки контроля давления и расхода в трубопроводах и т. д.), на которых размещены комплекты телеметрической аппаратуры, собирающие информацию с подключенных датчиков (датчиков телеизмерения, телесигнализации и т. д.).

Каждый из объектов оборудован приемопередающим устройством для связи с центральным диспетчерским пунктом. ЦДП состоит из блока сопряжения (БСП), к которому подключен персональный компьютер, являющийся рабочим местом оператора системы. Управ-

ление БСП, визуализацию принятой информации, ведение архивов обеспечивает программа верхнего уровня (ПВУ «Викинг»), установленная на персональном компьютере. ПВУ «Викинг» включает в себя основную программу, обеспечивающую пользовательский интерфейс, ведение архивов и т. д.), драйвер, который управляет обменом данными и обеспечивает настройку аппаратуры, и если в системе установлены счетчики, то модуль управления счетчиками (рис. 5.7).

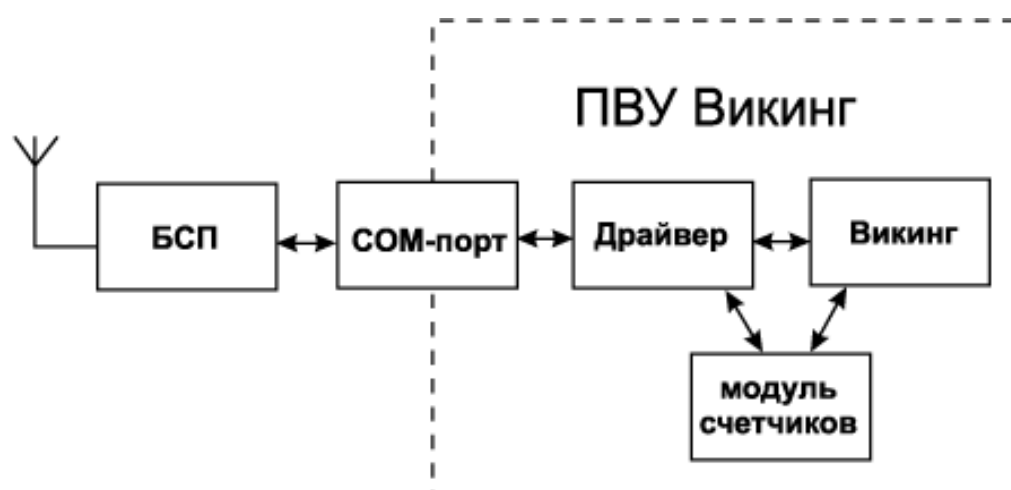


Рис. 5.7. Архитектура ПВУ «Викинг»

В центре находится дежурный оператор, отвечающий в данный момент за работу комплекса. При приеме дежурства оператор регистрируется с использованием пароля. Каждый оператор имеет определенный уровень доступа к системе.

Программа «Викинг» отображает собранную телеметрическую информацию, фиксирует все события и действия оператора в журнале событий. При запуске программы на экран выводится главное окно, включающее панели управления и статуса. В главном окне может отображаться одно из рабочих окон: журнал событий, таблица датчиков и телеуправления объекта, окно графиков или окно мнемосхем.

Программа «Викинг» осуществляет непрерывный сбор информации с объектов системы. Обмен информацией может происходить как в адресном, так и в спорадическом режиме. В адресном режиме программа последовательно опрашивает все объекты системы в за-

данной последовательности, получая информацию о состоянии всех датчиков на объектах. В спорадическом режиме объекты самопроизвольно передают информацию при изменении состояния датчиков; выход в эфир могут вызывать переключения датчиков телесигнализации, выход значений телеизмерения за аварийные уставки, переход через апертуру.

На объектах системы могут быть установлены счетчики (электрические, газовые и т. д.). В этом случае некоторый ограниченный (определяемый аппаратной реализацией объекта) набор информации со счетчиков передается в оперативном опросе счетчиков. Эти данные обрабатываются программой так же, как и показания датчиков системы «Телур». Для просмотра служебных параметров счетчиков (таких как внутренние журналы событий) предусмотрен режим прямого запроса счетчика.

При подаче одиночной команды телеуправления БСП передает команду на объект, получает квитанцию о приеме команды, ожидает завершения выполнения команды и запрашивает результат выполнения. При подаче групповой команды передача следующей команды возможна только после выполнения предыдущей. Широковещательная команда подается поочередно на все объекты в системе; с каждого объекта запрашивается результат выполнения. На время выполнения команды опрос приостанавливается.

Уставки, апертуры и маски датчиков передаются из центра на этапе настройки системы. Сообщения системы подразделяются на шесть типов:

- **системные сообщения** – запуск и закрытие программы, прием и сдача дежурства, переход КП на питание от аккумулятора;

- ✚ **коммуникационные сообщения** – отсутствие ответа от КП, передача конфигурации датчиков (см. инструкцию системного оператора «Викинг»), приход архива;

- ✂ **сообщения датчиков телеизмерения** – выход значения за аварийные уставки, возврат в норму;

- ⊗ **сообщения о переключениях датчиков телесигнализации;**

⚡ **сообщения телеуправления** – подача команды, подтверждение приема команды на КП, сообщение о выполнении (или невыполнении) команды;

⚡ **сообщения счетчиков.**

Кроме того, существует четыре класса аварийности сообщения: информационные, нормальные, предаварийные и аварийные. Аварийные сообщения – отсутствие связи с КП, несрабатывание телеуправления, выход за аварийные уставки, переход на аккумуляторное питание – отображаются красным. К предаварийным сообщениям (желтые) относятся сообщения о выходе значений датчиков за предаварийные уставки. Нормальные сообщения (зеленые) – возврат датчиков в норму. Информационные – все остальные (архивы, срабатывание телеуправления, запуск программы и т. д.) отображаются синим. В некоторых случаях при быстрых переключениях датчиков КП передает сообщения не по одному, а несколько сразу. В этом случае в журнале отображается только последнее состояние датчика, а все промежуточные заносятся в архив.

5.5. Вопросы и задания для самопроверки

1. Дайте определение термина «телемеханика».
2. Перечислите основные функции телемеханики.
3. Как передается информация при различной дальности контролируемого пункта от диспетчера?
4. Как осуществляется помехозащищенность радиосигналов?
5. Перечислите возможности АПТК «Телур».
6. Назовите режимы работы программного комплекса «Викинг».

ГЛАВА 6

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

6.1. Автоматизация газораспределительных станций

Задачей системы автоматизации и управления газораспределением города (региона) является обеспечение оптимальных и энергоэффективных производственных и технологических режимов газоснабжения с применением средств автоматики, телемеханики и современных компьютерных технологий.

Для правильного решения задач, связанных с вопросами автоматического регулирования и управления городскими системами газоснабжения, необходимо учитывать особенности нестационарных процессов газопередачи в газораспределительной сети и в первую очередь в городских газопроводах высокого и среднего давления. Потребление газа изменяется по месяцам года, дням недели и календарным дням, а также по часам суток. Причем каждой из категорий потребителей присущ свой характерный график неравномерности потребления газа во времени, что приводит к переменному гидравлическому режиму газовых сетей. Управление гидравлическим режимом систем газоснабжения ведется путем поддержания постоянного давления в отдельных частях сети независимо от интенсивности потребления газа. С этой точки зрения особое значение приобретает методика аналитических расчетов и моделирования динамических характеристик газовых сетей. Основная задача системы автоматического регулирования – поддержание требуемого давления газа во времени в различных точках газовой сети. Эта задача может быть успешно решена путем анализа неустановившегося движения газа в распределительных газопроводах. Известно, что нестационарные процессы передачи газа по газопроводам выражаются весьма сложной системой нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных.

В соответствии с иерархической системой управления предприятием (см. рис. 1.2) нулевой уровень должен обеспечивать регулирование отдельных параметров технологического процесса газораспре-

деления (АСР стабилизации давления газа и других параметров, программируемые АСР, следящие АСР); первый уровень обеспечивает управление отдельными участками технологического процесса газораспределения – газораспределительные станции (ГРС) и газораспределительные пункты (ГРП); второй уровень выполняет функции АСУТП распределения газа на основе локального критерия оптимального управления, и третий уровень реализует функции АСУП на основе глобального критерия оптимального функционирования предприятия.

Целью функционирования системы управления газовым хозяйством является обеспечение оптимального (с точки зрения доходов и затрат) и рационального ведения технологического процесса газоснабжения в условиях плановых, лимитированных поставок природного газа с учетом различных изменений в процессе газораспределения, возникающих в газовом хозяйстве. Система управления представляет комплекс организационных, технических, плановых, контрольных, учетных и административных функций, построенных по производственно-технологическому принципу.

АСУТП распределения газа выполняет операционный дистанционный централизованный контроль за ходом технологического процесса газораспределения и процесс управления осуществляется в три этапа:

1. Сбор, обработка и отображение информации с помощью средств телемеханики и ГИС-технологий о режимах работы сети газоснабжения, оценка состояния работы сети по возможным аварийным ситуациям.

2. Анализ ситуации, принятие решения, выбор варианта перераспределения газа между потребителями и выдача рекомендаций диспетчерскому персоналу по управлению работы сети.

3. Реализация принятого решения с помощью средств телемеханики.

В настоящее время в качестве АСУТП успешно зарекомендовали себя отечественные аппаратно-программные телеметрические комплексы «Телур» и «Скат». В АО «Газпром газораспределение Владимир» используется АПТК «Телур», который позволяет организовать многоуровневую систему оперативного диспетчерского контроля и управления технологическим процессом газораспределения.

Газораспределительная станция состоит из следующих узлов: входных газопроводов, пылеуловительных установок, установок редуцирования газа (основной и резервной), одорирующих устройств, емкостей для сбора конденсата, выходных газопроводов, устройств управления и защиты.

Система автоматического управления ГРС выполняет следующие функции:

1. Автоматический контроль и управление отдельными блоками и узлами, входящими в состав ГРС.

2. Автоматический контроль и управление ГРС в целом как в нормальных, так и при внештатных ситуациях.

3. Автоматическая защита потребителя от повышения или понижения давления газа на выходе ГРС.

4. Выдача информации о работе ГРС на локальный пульт контроля и управления оператора на ГРС и в диспетчерский пункт управления предприятия.

5. Выдача предупредительных и аварийных сигналов с расшифровкой аварийной ситуации на локальный пульт оператора и в диспетчерский пункт.

6. Контроль за действиями персонала, использующего систему управления, предотвращение несанкционированного доступа к системе управления.

7. Регулярная техническая диагностика средств ГРС, автоматический контроль за достоверностью собираемой и передаваемой информации.

8. Обеспечение коммерческого учета газа, передаваемого потребителям и на собственные нужды.

Закон регулирования регуляторов давления газа выбирают с учетом динамических свойств газовой сети, характера режима газопотребления (возмущающее воздействие на АСР давления газа) и допустимой статической ошибки. На ГРС устанавливают, как правило, ПИ-регуляторы, так как режим газопотребления резко переменный. На ГРП, который обслуживает ограниченное число потребителей с заранее известной газовой нагрузкой, устанавливают П-регуляторы. Изменение уставок регуляторам осуществляется дистанционно с помощью средств телемеханики.

Все пункты редуцирования газа (ГРП, ГРПБ, ШРП и ГРУ) должны быть оснащены фильтрами, устройствами безопасности ПЗК и ПСК, регуляторами давления газа, контрольными измерительными приборами (КИП), узлами учета расхода газа, микропроцессорными контроллерами, собирающими информацию о функционировании пункта, и средствами телемеханики для передачи информации на центральный диспетчерский пункт.

6.2. Регуляторы давления газа: назначение, устройство, классификация

Управление гидравлическим режимом работы системы газораспределения осуществляется с помощью регуляторов давления. *Регулятор давления газа (РД)* – это устройство для редуцирования (понижения) давления газа и поддержания выходного давления в заданных пределах вне зависимости от изменения входного давления и расхода газа, что достигается автоматическим изменением степени открытия регулирующего органа регулятора, вследствие чего также автоматически изменяется гидравлическое сопротивление проходящему потоку газа.

Регулятор давления представляет собой совокупность следующих компонентов (рис. 6.1): Д – датчик, осуществляющий непрерывный мониторинг текущего значения регулируемой величины и подающий сигнал к регулирующему устройству; З – задатчик, который вырабатывает сигнал заданного значения регулируемой величины (требуемого выходного давления) и передает его на регулирующее устройство; Р – регулирующее устройство, осуществляющее алгебраическое суммирование текущего и заданного значений регулируемой величины и подающее командный сигнал к исполнительному механизму; ИМ – исполнительный механизм, который преобразует командный сигнал в регулирующее воздействие и в соответствующее перемещение регулирующего органа за счет энергии рабочей среды.

На практике в РД в качестве датчика выступает контролируемое давление, или так называемый «импульс», задатчиком служит пружина или пневмозадатчик (пилот), а регулирующим устройством – мем-

брана или эластичный затвор. Исполнительный механизм представляет собой части корпуса регулятора с мембраной (эластичным затвором) в качестве разделителя сред и регулирующий орган.

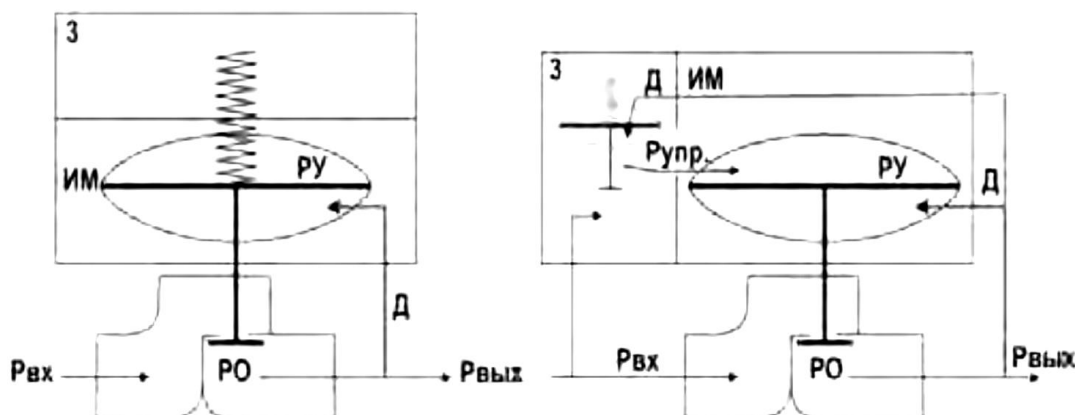


Рис. 6.1. Составные элементы регуляторов с пружинным и пневматическим задатчиком: $P_{вх}$ – входное давление; $P_{вых}$ – выходное давление; Д – датчик; З – задатчик; РУ – регулирующее устройство; ИМ – исполнительный механизм; РО – регулирующий орган; $P_{упр}$ – управляющее давление

В связи с тем что регулятор давления газа предназначен для поддержания постоянного давления в заданной точке газовой сети, всегда необходимо рассматривать систему автоматического регулирования в целом – «регулятор и объект регулирования (газовая сеть)». Правильный подбор регулятора давления должен обеспечить устойчивость системы «регулятор – газовая сеть» т. е. ее способность возвращаться к первоначальному состоянию после прекращения возмущения.

В зависимости от поддерживаемого давления (расположения контролируемой точки в газопроводе) РД разделяют на регуляторы «до себя» и «после себя». В ГРП (ГРУ) применяют только регуляторы «после себя».

Исходя из положенного в основу работы закона регулирования, регуляторы давления бывают *астатические* (отрабатывающие интегральный закон регулирования), *статические* (отрабатывающие пропорциональный закон регулирования) и *изодромные* (отрабатывающие пропорционально-интегральный закон регулирования).

В *статических РД* величина изменения регулирующего отверстия прямо пропорциональна изменению расхода газа в сети и обратно пропорциональна изменению выходного давления. Примером ста-

тических РД можно назвать регуляторы с пружинным задатчиком выходного давления.

Регулятор давления с интегральным законом регулирования в случае изменения расхода газа создает колебательный режим, обусловленный самим процессом регулирования. При изменении расхода газа разность между первоначальным и заданным значениями выходного давления увеличивается до тех пор, пока количество газа, проходящее через регулятор, меньше нового расхода и достигает своего максимума, когда эти значения сравниваются. В этот момент скорость открытия регулирующего отверстия максимальна. Но на этом регулирующий орган не останавливается, а продолжает открывать отверстие, пропуская газа больше, чем требуется, и выходное давление соответственно тоже повышается. В результате этого получается ряд колебаний около некоего среднего значения, при котором постоянный режим (как в случае статического регулятора) никогда не будет достигнут.

Представителями *астатических регуляторов* являются регуляторы давления с пневматическим задатчиком выходного давления, а характерным примером такого процесса можно считать незатухающие автоколебания (так называемую «качку») некоторых типов пилотных РД в определенных переходных режимах работы.

Изодромный регулятор (с упругой обратной связью) при отклонении регулируемого давления сначала переместит регулирующий орган на величину, пропорциональную величине отклонения, но если при этом давление не примет заданное значение, то регулирующий орган будет перемещаться до тех пор, пока давление не достигнет заданного значения. Подобный регулятор сочетает в себе точность интегрального и быстродействие пропорционального регулирования. К изодромным РД относятся так называемые «прямоточные» регуляторы.

Термины, используемые для характеристики работы регуляторов давления газа

Точность регулирования, % (Па) – максимальное положительное или отрицательное отклонение выходного давления от заданного значения в пределах указанного рабочего диапазона расхода газа и входного давления.

Давление закрытия, % (Па) – максимальное увеличение значения выходного давления при уменьшении расхода газа до нуля (максимальный прирост давления при работе регулятора на «тупик»).

Статическая ошибка – отклонение регулируемого давления от заданного при установившемся режиме (также называют неравномерностью регулирования).

Ход клапана – расстояние, на которое перемещается клапан от седла.

Диапазон настройки – разность между верхним и нижним пределами давления, между которыми может быть осуществлена настройка регулятора.

Верхний/нижний предел настройки давления – максимальное/минимальное выходное давление, на которое может быть настроен регулятор.

Зона регулирования – разность между регулируемыми давлениями при 10 и 90 % от максимального расхода.

Зона нечувствительности – разность регулируемого давления, необходимая для изменения направления движения регулирующего органа.

Зона пропорциональности – изменение регулируемого давления, необходимое для перемещения регулирующего органа (клапана) на значение его номинального (полного) хода.

Условная пропускная способность K_v – величина, равная расходу воды плотностью 1 г/см^3 (1000 кг/м^3) в кубических метрах в час через регулятор при номинальном (полном) ходе клапана и перепаде давления $0,1 \text{ МПа}$ (1 кг/см^2).

Относительная протечка – отношение максимального значения протечки воды через затвор регулирующего органа при перепаде давления на $0,1 \text{ МПа}$ и условной пропускной способности K_v .

Основные принципы выбора регуляторов

Регуляторы давления газа необходимо выбирать, учитывая следующие факторы:

- тип объекта регулирования;
- максимальный и минимальный требуемый расход газа;
- максимальное и минимальное входное давление;
- максимальное и минимальное выходное давление;

- точность регулирования (максимально допустимое отклонение регулируемого давления и время переходного процесса регулирования);
- необходимость полной герметичности при закрытии регулятора;
- акустические требования к работе регуляторов с высокими входными давлениями и большими расходами газа.

Основным требованием при подборе регулятора давления является обеспечение устойчивости его работы на всех возможных режимах, чего проще всего добиться правильным выбором регулятора для того или иного объекта. Для тупикового газопровода (с отбором газа в конце газопровода) следует применять статические регуляторы прямого действия, в случае больших расходов газа – непрямого действия. Для кольцевых и разветвленных газовых сетей, учитывая их способность к самовыравниванию, можно использовать любые типы регуляторов, но так как эти сети имеют обычно большие расходы, то лучше применять астатические регуляторы непрямого действия. Эти регуляторы позволяют более точно поддерживать давление «после себя».

Неравномерность регулирования у статических регуляторов давления прямого действия составляет $\pm 0...20\%$, статических непрямого действия (с пилотом) и астатических – $\pm 5...10\%$.

При подключении к сетям высокого давления, давление в которых имеет значительные колебания, а также учитывая практически существующие конструкции регуляторов, может оказаться, что одноступенчатое снижение давления не применимо. В этом случае следует либо выбирать двухступенчатый регулятор давления, либо применить двухступенчатое редуцирование, при котором первым регулятором давление снижается до промежуточного значения, а вторым – до необходимого с высокой точностью.

При выборе регулятора давления необходимо учитывать явления, связанные с шумом работающего регулятора. Возникновение шумов вызвано газодинамическими колебательными процессами у регулирующих органов и стенок регуляторов. При резонансе амплитуда колебаний клапана может резко возрасти, что приведет к износу и разрушению клапана, сильной вибрации регулятора. Наиболее эф-

фективный метод снижения амплитуд колебаний – установка гасителя шума (перфорированного патрубка) сразу после редуцирования газа.

Пропускную способность регуляторов давления обычно определяют по аналогии с истечением газа через суживающееся сопло или сопло постоянного сечения, считая процесс адиабатическим. При постоянном входном давлении P_1 скорость истечения и объемный расход растут с уменьшением противодавления P_2 только до достижения отношения P_2/P_1 определенного для данного газа значения, которое называют критическим (P_2 и P_1 – абсолютные давления).

В системах газораспределения наиболее распространены следующие типы регуляторов давления: регуляторы прямого действия с пружинной и рычажно-пружинной нагрузками и регуляторы непрямого действия с командным прибором (пилотом) (рис. 6.2).

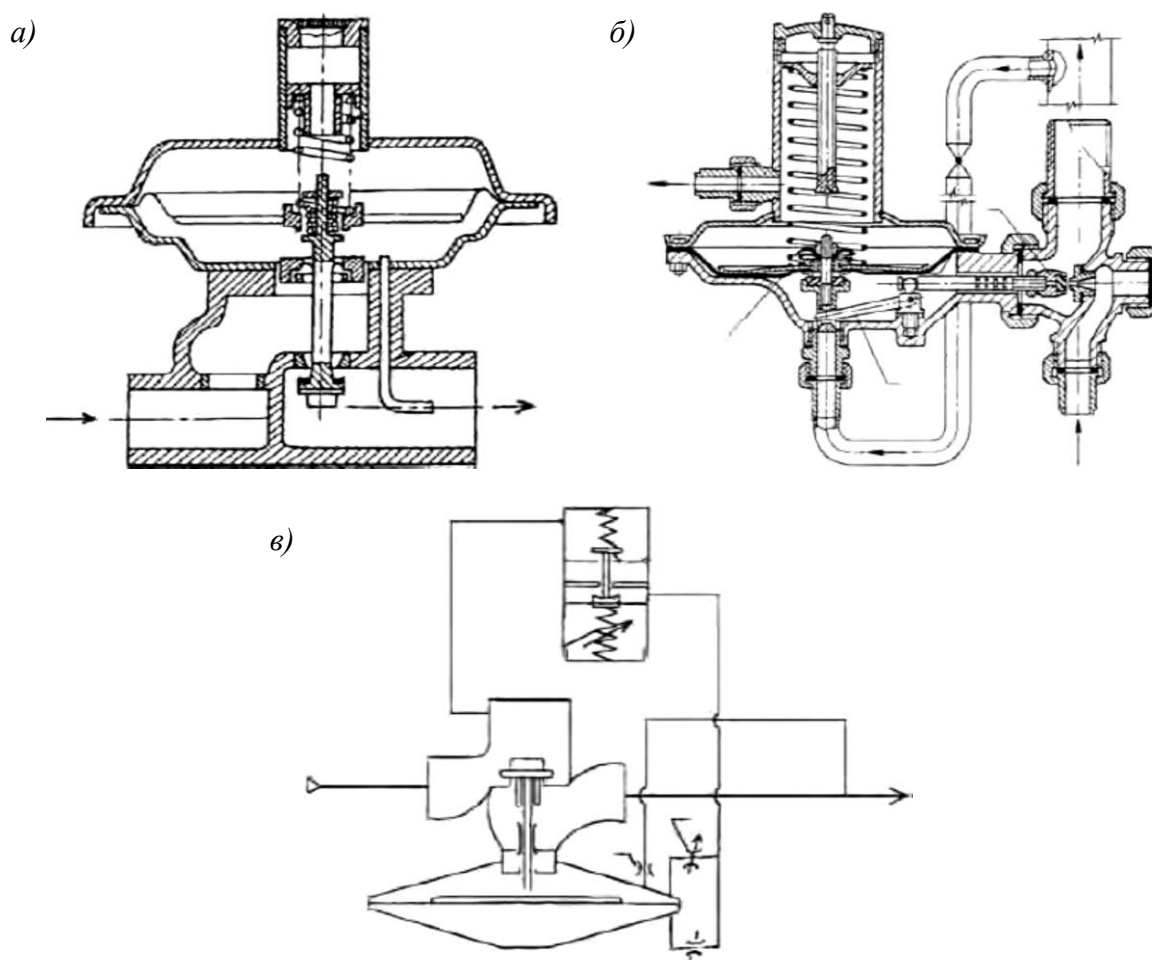


Рис. 6.2. Принципиальная схема регулятора давления:
а – с односедельным клапаном и разгрузочной мембраной;
б – с рычажной передачей; в – регулятор с пилотом

Принципиальная схема регулятора первой группы изображена на рис. 6.2, *а*. К ним можно отнести регуляторы РДГД-20 и РДСК-50, в которых усилие рабочей мембраны передается непосредственно на клапан, находящийся на штоке и закрепленный в центре мембраны. В целях разгрузки клапана от влияния входного давления используется дополнительная разгрузочная мембрана.

Вторая группа – это беспилотные регуляторы типа РД-32М, РД-50М, РДНК-400 (рис. 6.2, *б*). Для них характерно наличие рычажной системы передачи усилия от рабочей мембраны на регулирующий клапан. За счет различия в длинах плеч коленчатого рычага уменьшается сила воздействия входного давления на клапан регулятора. Усилие мембранного привода на клапан при этом увеличивается, что обеспечивает более высокое уплотняющее усилие на клапан. Так, для РД-32М соотношение плеч рычага равно 6.

У беспилотных регуляторов первой и второй групп органом настройки регулируемого выходного давления служит настроечная пружина, воздействующая на рабочую мембрану.

Ограниченные размеры пружины и мембраны определяют следующие особенности:

- узкий диапазон выходного регулируемого давления, величина которого определяется параметрами настроечной пружины;
- «наклонная» расходная характеристика. Это означает, что с увеличением расхода газа через регулятор от 0 до 100 % выходное давление в определенном соотношении для каждого типа регулятора уменьшается;
- пропускная способность этих регуляторов невелика.

Третья группа регуляторов – устройства типа РДУК2, РДБК1, РДГ (рис. 6.2, *в*). Их характерная особенность – наличие регулятора управления (пилота). Процесс регулирования определяется взаимодействием выходного давления на рабочую мембрану, силы так называемого «управляющего давления», подаваемого из пилота в подмембранное пространство, грузом подвижных частей, силами трений в соединениях.

Газ входного давления поступает в пилот. Пилот поддерживает постоянное давление под рабочей мембраной регулятора. По импульсному трубопроводу газ выходного давления поступает на мембрану. Через дроссель избыток газа после пилота постоянно сбрасывается.

Регуляторы на требуемое выходное давление настраиваются изменением усилия сжатия регулировочной пружины пилота, а также открытием или закрытием проходного сечения регулируемых дросселей. Подмембранная полость пилота сообщена с атмосферой.

Если $P_{\text{вых}}$ уменьшилось, то уменьшится и давление над рабочей мембраной, клапан вместе с мембраной поднимается, расход газа через регулятор увеличивается, $P_{\text{вых}}$ возрастает вновь до заданного значения.

Пилотные регуляторы имеют достаточно широкие интервалы входного и выходного давления и пропускной способности. Это обеспечивается воздействием на рабочую мембрану регулятора подмембранного управляющего давления, создаваемого пилотом, вместо непосредственного воздействия настроечной пружины на мембрану.

По сравнению с пружинными регуляторами прямого действия пилотные имеют следующие преимущества:

- возможность обеспечения широких интервалов выходного регулируемого давления 0,01 – 0,06 МПа и 0,06 – 0,6 МПа;
- обеспечение достаточно большой пропускной способности;
- возможность в ряде случаев перенастройки регуляторов на рабочие параметры без прекращения подачи газа к потребителям.

При уменьшении расхода газа через регулятор, а также при увеличении давления на входе в регулятор часто возникают незатухающие резкие колебания выходного давления, так называемая «качка». В первом случае клапан регулятора находится на малой высоте от седла, и даже небольшие перемещения клапана приводят к ощутимому изменению расхода. Во втором случае увеличенное входное давление прижимает клапан к седлу, и возникают колебания клапана.

Кроме наиболее распространенной причины «качки» выходного давления – неправильного подбора регулятора с загрузкой его менее 10 % от пропускной способности – причинами «качки» могут быть:

- наличие в непосредственной близости от входа в регулятор запорной арматуры, измерительных дроссельных шайб, сужений или расширений газопровода, резких поворотов газопровода;
- недостаточно тщательная настройка режима работы регулирующими дросселями;
- выбор места отбора импульса выходного давления в такой точке газопровода, где поток газа имеет нестабильные параметры;

- наличие резких сужений импульсного трубопровода между регулятором и выходным газопроводом;
- некачественная врезка импульсного газопровода в стенку выходного газопровода.

6.3. Автоматизированные системы газораспределения

Автоматизированная система коммерческого учета природного газа для бытовых потребителей (АСКУГ)

Автоматизация газораспределения с помощью компьютерных средств достигла и бытовых потребителей. Проектировщики из Волгограда предложили систему АСКУГ.

Цели разработки:

- расчеты за фактические объемы потребления газа;
- повышение оперативности получения достоверной информации;
- контроль качества предоставляемых услуг газоснабжения;
- составление баланса приема и отпуска газа;
- выявление фактических потерь газа;
- своевременное обнаружение аварий.

Функции АСКУГ:

1. Автоматический сбор показаний индивидуальных и общедомовых счетчиков газа.
2. Способы снятия показаний квартирных счетчиков: автоматический дистанционный, с помощью портативного считывателя показаний, ручной.
3. Передача данных по каналам связи локальной сети Ethernet, GPRS на сервер системы.
4. Регистрация показаний счетчиков в базе данных, ведение справочников приборов учета.
5. Визуальное отображение измеренных значений объема, давления и температуры газа на компьютере диспетчера в табличной и графической формах.
6. Оперативный контроль технологических параметров систем снабжения газом, расчет балансов между количеством потребленного и поставленного газа.

7. Формирование отчетов (сводок) установленного образца по потреблению газа, редактирование формы отчета, просмотр и вывод на печать.

8. Информационное сопряжение с внешними системами по технологии OPC DA 2.

9. Ведение счетов абонентов, учет прихода и расхода денежных средств по абонентам, поддержка различных тарифных планов, расчет по предоплате (авансу) или расчет в кредит, выставление квитанций абоненту.

10. Оперативное дистанционное отключение подачи газа абоненту за неуплату.

11. Извещение абонентов о состоянии счета и отключении энергоресурса по SMS-сообщениям.

Геоинформационные технологии постепенно становятся неотъемлемой частью информационного пространства предприятий ТГВ. Геоинформационный подход рассматривается компанией «Неолант» при создании программного комплекса визуализации функционирования Единой системы газоснабжения Российской Федерации (ГИС ЕСГ РФ) для Центрального производственно-диспетчерского департамента (ЦПДД) АО «Газпром» и ООО «Газпром ВНИИГАЗ».

Аналогичные информационно-графические системы (ИГС) разработаны в АО «Мегаполис» («Газпром Газораспределение Владимир», г. Владимир), «ГазГраф» («CityCom», г. Брянск), которые предлагают паспортизацию, расчеты режимов и диспетчеризацию городских газовых сетей высокого, среднего и низкого давления, решение экономических задач.

Информационная модель диспетчерского управления (состав инструментальных средств)

Базовый комплекс ИГС «ГазГраф» (в многопользовательском сетевом варианте):

- полнофункциональная ГИС-компонента;
- графическое представление транспортных и распределительных сетей газоснабжения с полным описанием топологии;
- паспортизация сетей;
- создание и визуализация детализированных схем узлов/участков;

- параметрические раскраски, пространственные запросы, справки и отчеты;
- привязка и каталогизирование данных (мультимедиа и документов);
- средства оцифровки растров;
- средства экспорта/импорта графики в/из MIF-MID;
- автодокументирование структуры БД.

Подсистема «Гидравлика»:

- гидравлический расчет разветвленных и кольцевых газораспределительных и газотранспортных сетей высокого, среднего и низкого давления произвольной размерности, с несколькими источниками, работающими на общую сеть;
- моделирование переключений запорно-регулирующей арматуры;
- создание и администрирование модельных баз для многовариантных расчетов;
- построение пьезометрических графиков (профилей давления), в том числе сравнительных;
- групповые изменения характеристик нагрузок по заданным критериям;
- групповые изменения характеристик участков по заданным критериям (калибровочный инструментарий).

Подсистема «Переключения»:

- ведение журнала (архива) переключений на газораспределительной сети;
- фиксация состояния динамических (переключаемых) элементов в контрольной базе данных модели сети (актуализация модели);
- обработка архива переключений.

Подсистема «Локализация аварий»:

- выдача рекомендаций по закрытию запорной арматуры в узлах сети с целью полной или частичной (от источников) локализации аварийного участка газораспределительной сети, с учетом критериев доступности и исправности арматуры, с генерацией отчетов о локализуемой области и отключаемых нагрузках.

Подсистема «Заявки» (служба «04»):

- комплексное ведение диспетчерских журналов заявок на плановые и аварийные ремонтно-восстановительные работы;
- контроль текущего состояния заявок по этапам их жизненного цикла;
- привязка к графическому представлению сетей на плане местности и БД паспортизации объектов;
- ведение журнала повреждений с привязкой к заявкам;
- ведение журналов использования бригад, материалов, машин и механизмов;
- статистическая обработка и анализ журналов;
- графическая визуализация мест повреждений и дефектов по данным архива заявок и повреждений.

Автоматизация газоиспользующих установок

К газоиспользующим установкам относятся промышленные газовые печи и сушильные установки, котлоагрегаты (паровые и водогрейные), промышленные газовые воздухонагреватели (газовые калориферы), газовое оборудование жилых и гражданских зданий. Автоматизация газоиспользующих установок предусматривает местное (дистанционное) управление, автоматический розжиг горелок, регулирование давления и расхода газа, автоматический контроль и защиту.

Автоматизацию газоиспользующих установок рассмотрим на примере промышленной газовой печи (рис. 6.3).

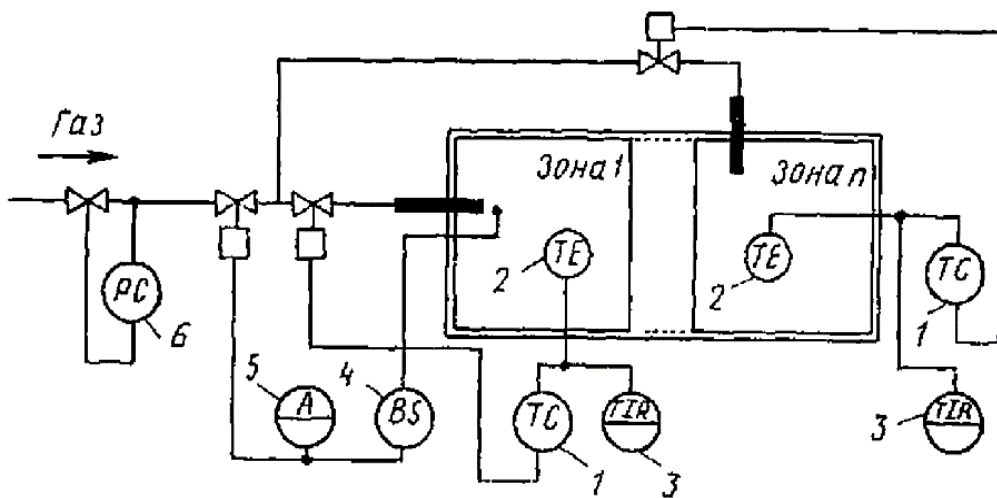


Рис. 6.3. Функциональная схема автоматизации промышленной газовой печи

Пространство печи разделено на n зон. Температурный режим каждой зоны стабилизируется соответствующим регулятором температуры 1, датчик 2 устанавливают в рабочей части зоны. Автоматический контроль (и регистрация) температуры зоны осуществляется вторичными приборами 3. Схемой предусматривается автоматическая защита. При отрыве пламени или погасании факела любой горелки срабатывают автомат защиты 4 и система аварийной сигнализации 5. Давление газа перед горелками регулируется регулятором 6. Обычно применяются П-регуляторы прямого действия.

6.4. Вопросы и задания для самопроверки

1. Перечислите основные задачи автоматизации и управления процессом газораспределения.
2. Опишите иерархию управления процессом газораспределения.
3. Какие функции осуществляет АСУТП газораспределения?
4. Опишите основные функции АСУ ГРС.
5. Какие регуляторы применяют на ГРС и ГРП? Объясните почему.
6. В чем назначение и каково устройство регуляторов давления газа?
7. Как классифицируются регуляторы давления газа?
8. Назовите основные характеристики регуляторов газа.
9. Расскажите о функциональном назначении АСКУГ.
10. Объясните принцип действия системы управления температурой газовой печи.

ГЛАВА 7

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

7.1. Задачи и принципы автоматизации систем теплоснабжения

Автоматизация систем теплоснабжения способствует *поддержанию заданных гидравлических и тепловых режимов в различных их точках*. Основную роль в решении этих задач играют устройства автоматического регулирования и автоматической защиты. В системах центрального отопления в качестве энергоресурса используется теплоноситель (горячая вода или пар), поставляемый органами коммунального хозяйства.

Известно, что только центральный метод регулирования на ТЭЦ или в котельной не может обеспечить заданные гидравлические и тепловые режимы у многочисленных и разнородных потребителей теплоты, поэтому применяют несколько ступеней регулирования. Дополнительно к центральному вводят групповое регулирование на центральных тепловых пунктах (ЦТП), местное общее или позонное в индивидуальных тепловых пунктах (ИТП), а также индивидуальное регулирование непосредственно в месте потребления теплоты.

В тепловых сетях значительной протяженности с неблагоприятным рельефом местности устанавливают насосные перекачивающие подстанции, являющиеся дополнительным объектом (ступенью) регулирования и защиты.

На теплоподготовительной установке ТЭЦ или котельной осуществляют регулирование давления воды перед сетевыми насосами, защита от повышения давления сетевой воды, регулирование температуры сетевой воды в подающем трубопроводе за основными подогревателями или пиковыми водогрейными котлами, регулирование уровня конденсата в подогревателях и защита их от переполнения конденсатом, регулирование деаэраторов подпиточной воды.

На перекачивающей насосной подстанции автоматизируются сами насосы (автоматическая блокировка с основными сетевыми насосами, включение резерва и т. д.), устройства подпитки и регулирования давления перед насосами, защита от повышения давления.

На ЦТП для систем отопления осуществляются регулирование температуры воды после насосов смешения по отопительному графику и температуры воды на нужды горячего водоснабжения; на абонентских вводах при наличии ЦТП – местное регулирование режима отпуска теплоты на отопление и местное регулирование воздухоподогревателей вентиляционных систем.

В зональных системах отопления целесообразно применять местное регулирование отдельных зон, позволяющее нейтрализовать возмущающие воздействия ветра и солнечной радиации.

При изменении в процессе регулирования расхода сетевой воды в каком-либо объекте неизбежно меняются перепады давления на остальных объектах вследствие гидравлической разрегулировки, поэтому на каждом ЦТП или ИТП целесообразно предусматривать регулирование перепада давления. В ряде случаев на ИТП или ЦТП осуществляется регулирование давления в обратной линии тепловой сети для нормальной работы систем отопления при зависимой схеме их присоединения.

7.2. Автоматизация теплоподготовительных установок ТЭЦ и котельных

Схемами автоматизации предусматриваются:

- управление подпиточными насосами и регулирование давления воды в обратном трубопроводе станции или на перемычке;
- регулирование давления и уровня воды в теплофикационных деаэраторах;
- регулирование теплопроизводительности сетевых подогревателей и их автоматическая защита;
- автоматическое включение резервных сетевых насосов и защита от повышения давления сетевой воды.

Автоматизация подпиточных устройств. Подпиточные устройства поддерживают постоянное (или изменяющееся по определенному закону) давление воды во всасывающем коллекторе сетевых насосов. Для закрытых тепловых сетей с небольшими потерями давления воды в магистральных и благоприятном рельефе местности давление в точке подпитки при всех режимах (в том числе при остановленных сетевых насосах) поддерживается постоянным. Это достигается

изменением подачи подпиточной воды (стока) из тепловой сети. Утечки воды в закрытой тепловой сети изменяются во времени и носят случайный характер. При аварийных ситуациях утечка воды значительно возрастает; в этом случае предусмотрены резервные подпиточные насосы, которые включаются автоматически.

В открытых тепловых сетях расход подпиточной воды определяется переменным водоразбором на горячее водоснабжение.

Схема автоматизации подпиточных устройств при закрытой системе теплоснабжения приведена на рис. 7.1. Предусматривается поддержание постоянного давления в обратном коллекторе тепловой сети на станции перед сетевыми насосами регулятором подпитки (типа «после себя»). Обычно используют П- или ПИ-регуляторы. Если статическое давление воды при остановленных сетевых насосах превышает давление в обратном коллекторе при работе насосов, то перестройка осуществляется вручную или автоматически путем применения специальных схем перестройки. Подпиточные насосы снабжены автоматикой включения резерва (АВР).

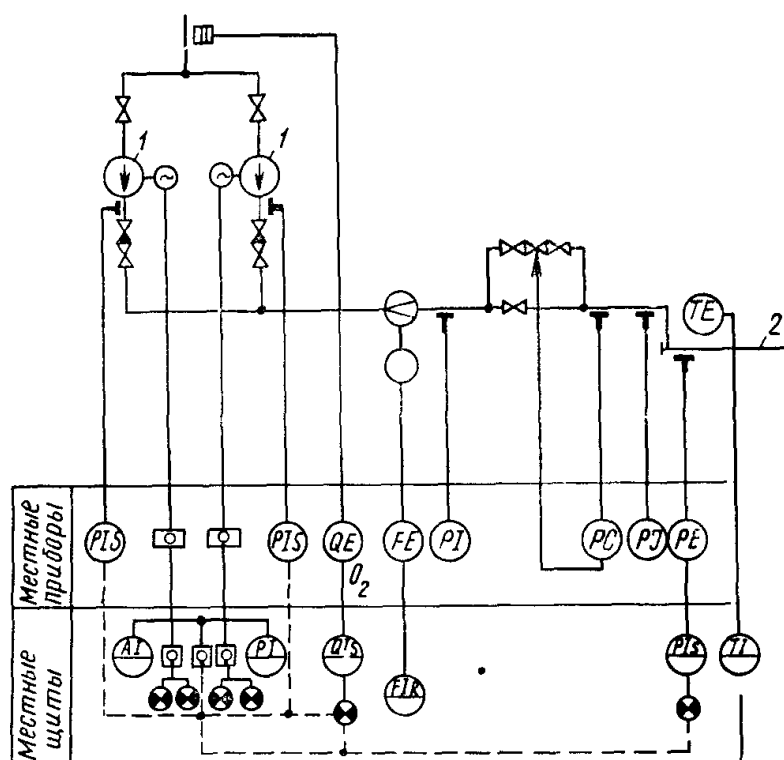


Рис. 7.1. Схема автоматизации при закрытой схеме теплоснабжения:
1 – подпиточные насосы; 2 – обратный трубопровод

Автоматизация теплофикационных деаэраторов. При установке на станции на линии подпиточной воды вакуумного деаэратора осуществляется автоматическое регулирование уровня воды в деаэраторном баке (рис. 7.2).

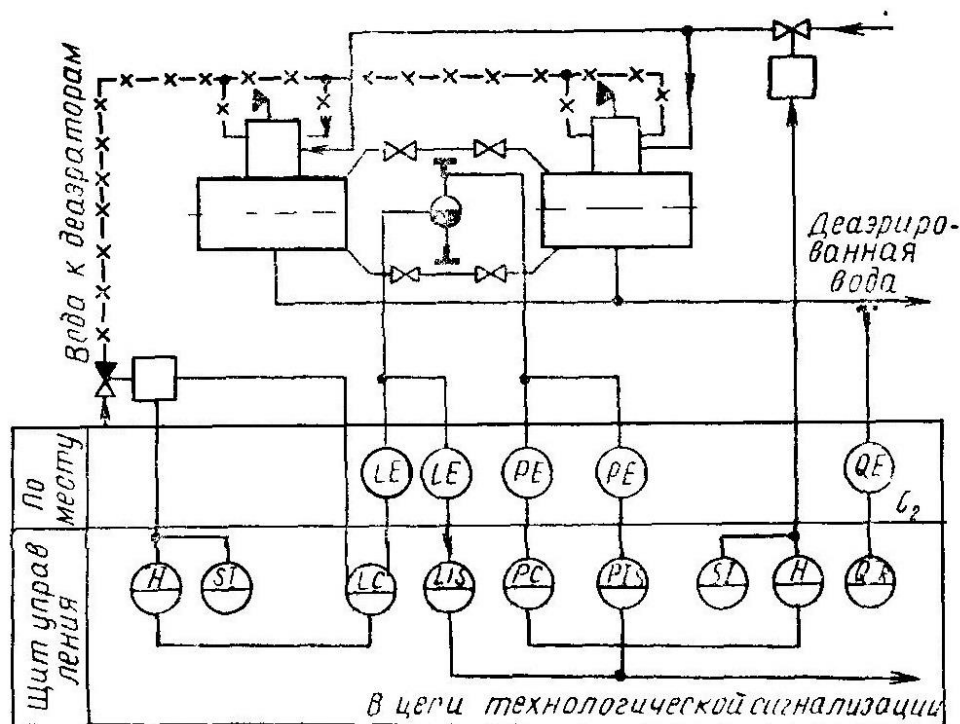


Рис. 7.2. Схема автоматизации установки с двумя деаэраторами

В установившемся режиме среднее значение уровня должно быть постоянным, а в переходных допускается колебание ± 200 мм. По динамическим свойствам деаэраторный бак является интегрирующим звеном, для которого можно записать

$$T \frac{d\varphi}{dt} = k\lambda,$$

где $T = FH_0\rho/G$ – время разгона, с; F – площадь бака, м²; H_0 – номинальный уровень воды в баке, м; H – текущее значение уровня, м; $\lambda = (G_{\text{пр}} - G_{\text{ст}})/G$ – относительное возмущающее или регулирующее воздействие; $G_{\text{пр}}$, $G_{\text{ст}}$ – приток и сток воды, кг/с; G – максимальный расход воды, кг/с; ρ – плотность воды, кг/м³; k – передаточный коэффициент.

Решая уравнение, получим

$$\varphi = \frac{k\lambda t}{T}.$$

В атмосферном деаэраторе дополнительно предусматривается регулирование давления в колонке, что достигается изменением подачи пара в колонку деаэратора. Для регулирования уровня и давления применяются ПИ-регуляторы.

Относительное давление в колонке деаэратора можно рассматривать как апериодическое звено

$$T \frac{d\varphi}{dt} + \varphi = k\lambda,$$

где T – постоянная времени, с; φ – относительное отклонение давления, λ – относительное воздействие подачей пара.

Автоматизация сетевых подогревателей. При автоматизации сетевых подогревателей основная задача заключается в регулировании температуры сетевой воды на выходе из подогревателей. Наиболее часто применяется центральное регулирование по отопительному графику с температурой воды в подающем трубопроводе 60 – 150 °С. Минимальная температура 60 °С обуславливается соблюдением гигиенических требований, предъявляемых к системам горячего водоснабжения.

При двухступенчатой последовательной схеме присоединения абонентских вводов возможно регулирование температуры сетевой воды по повышенному температурному графику (суммарной нагрузке). По метеорологическим данным требуемая температура сетевой воды устанавливается вручную задатчиком регулятора и поддерживается с точностью ± 2 °С.

Регулирование температуры сетевой воды за подогревателями осуществляется путем дросселирования греющего пара или перепуском части сетевой воды в обвод подогревателей (рис. 7.3). Первый метод применяется при регулировании температуры сетевой воды за пиковыми подогревателями, второй – за основными подогревателями, когда выключены пиковые. При этом обеспечивается меньшее колебание давления греющего пара и уменьшается инертность регулируемого объекта. В обоих случаях применяются ПИ-регуляторы.

Пароводяные подогреватели в первом приближении можно рассматривать как инерционные объекты с запаздыванием. Для подогревателей типа СП (с максимальным расходом пара 28 кг/с) постоянная времени $T \sim 50$ с и время запаздывания $\tau \sim 18$ с.

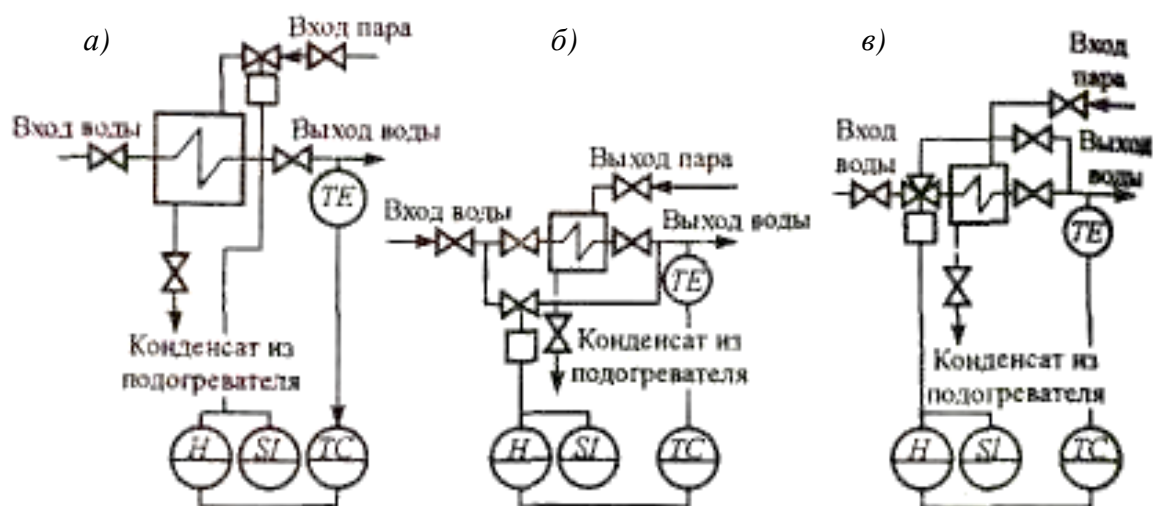


Рис. 7.3. Схемы регулирования температуры сетевой воды за подогревателями:
 а – дросселированием греющего пара; б – перепуском части воды в обвод подогревателя с помощью регулирующего клапана на обводной линии;
 в – с помощью трехходового регулирующего клапана

В основных и пиковых сетевых пароводяных подогревателях требуется поддерживать уровень конденсата в допустимых пределах исходя из условий оптимального теплообмена в подогревателе и исключения возможности сброса воды в трубопровод греющего пара. Допускаемое отклонение уровня конденсата ± 200 мм. Участок регулирования подогревателя по уровню конденсата является интегрирующим звеном. Схема автоматического регулирования уровня конденсата и защиты подогревателей от переполнения представлена на рис. 7.4. Для регулирования уровня применяются ПИ-регуляторы.

Защита от переполнения конденсатом осуществляется путем автоматического закрытия задвижек на трубопроводах сетевой воды и пара и открытия задвижек на обводной линии. Одновременно с этим подаются световой и звуковой сигналы.

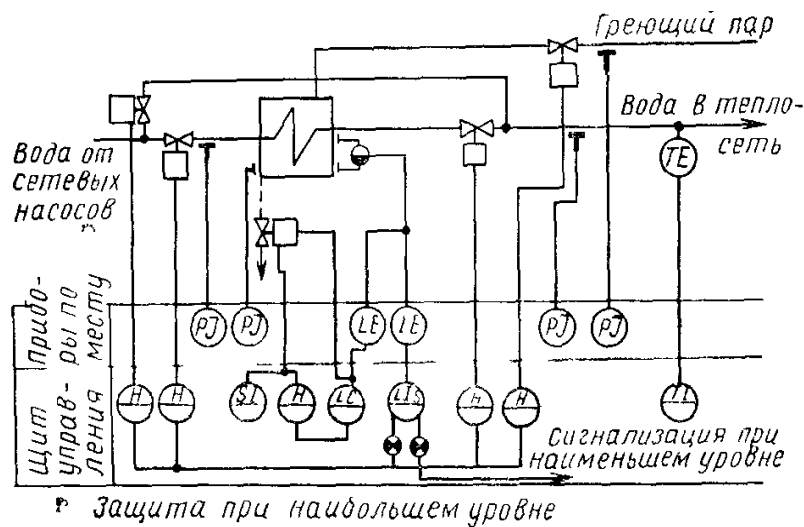


Рис. 7.4. Схема регулирования уровня конденсата и защиты подогревателей от переполнения конденсатом

Автоматизация включения резервных сетевых насосов и защита от повышения давления сетевой воды. В процессе эксплуатации тепловых сетей не исключена возможность остановки части сетевых насосов, в результате чего может повыситься давление в обратном трубопроводе до недопустимых пределов и возникнут повреждения отопительных систем при непосредственном присоединении их к тепловой сети. Поэтому предусматривается автоматическое включение резервных насосов при остановке рабочих.

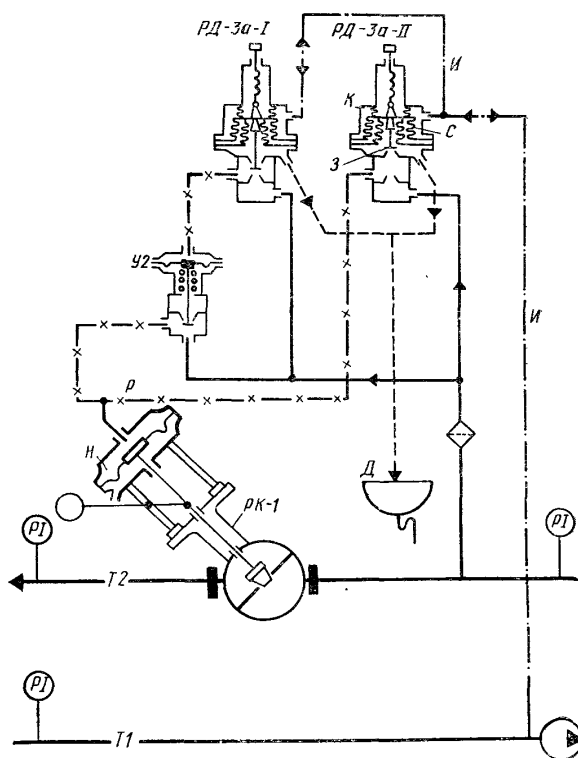


Рис. 7.5. Одновременное регулирование давления и разобщение тепловой сети

давления-защиты, разработанный ОРГРЭС, состоящий из четырех основных блоков: двух измерительно-усилительных трехсильфонных

тупиковых насосов при остановке рабочих. На рис. 7.5 показано, как осуществляется одновременное регулирование давления и разобщение тепловой сети. Для этой цели применен двухточечный двухкаскадный регулятор

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: 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.

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.

Обычная схема автоматического включения резервного насоса предусматривает пуск его при закрытой задвижке на напорном трубопроводе с последующим автоматическим открытием задвижки. Однако при этом значительно растягивается время восстановления первоначального режима, который имел место до момента остановки рабочего насоса, и такой режим АВР не устраняет временного повышения давления в обратном трубопроводе сверх допустимых пределов. Поэтому рекомендуется резервный насос включать на частично открытую задвижку.

Характер изменения давления при автоматическом переключении насосов существенно зависит от продолжительности времени

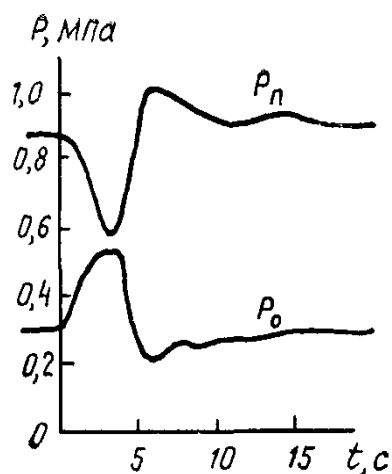


Рис. 7.6. Кривые изменения давления в подающем P_n и обратном P_o коллекторах ТЭЦ при кратковременном выключении двух насосов из четырех

между остановкой и включением электродвигателей переключаемых насосов. На рис. 7.6 приведены экспериментальные кривые изменения давлений.

При выключении насосов на 4 с давление в обратном коллекторе поднялось на $2,4 \text{ кгс/см}^2$ ($0,24 \text{ МПа}$), при увеличении времени выключения насосов до 9 с — на $2,9 \text{ кгс/см}^2$ ($0,29 \text{ МПа}$).

Следовательно, чем короче перерыв в работе насосов, тем меньше повышение давления в обратной линии теплосети и меньше вероятность гидравлического удара при аварийных остановках сетевых насосов. Регулировать работу насосов можно плавно, без скачков и перерывов.

7.3. Автоматизация насосных подстанций

Основное назначение насосных подстанций — изменение давления в подающем или обратном трубопроводе за подстанцией, а также увеличение пропускной способности тепловой сети.

Автоматизацией насосной подстанции на подающей магистрали предусматриваются:

- 1) блокировка насосных агрегатов автоматикой включения резерва (АВР);
- 2) блокировка электродвигателей насоса и задвижки на напорном патрубке насоса;
- 3) автоматическое включение резервного насоса при падении давления в напорном патрубке работающего;
- 4) автоматическое переключение на резервный источник электропитания;
- 5) сигнализация о неисправностях работы насосной подстанции (например, превышение допустимой температуры в подшипниках насосов, автоматическое включение резервного насоса, понижение давления воды за насосами и т. д.).

При автоматизации насосной подстанции на обратной магистрали дополнительно предусматривается поддержание постоянного давления во всасывающем коллекторе насосной подстанции, так как постоянство давления во всасывающем коллекторе влияет на надежность работы отопительных систем. Датчик давления при повышении или понижении давления во всасывающем коллекторе подает сигнал на задвижку, тем самым открывая или закрывая ее, осуществляя изменение перепуска воды по байпасу.

Автоматическая защита от понижения давления воды во всасывающем коллекторе перекачивающей подстанции действует при аварийных ситуациях. В указанных условиях автомат рассечки разделяет тепловую сеть на две гидравлически независимые зоны: верхнюю (с высокой отметкой пьезометра после срабатывания защиты) и нижнюю (с низкой отметкой пьезометра).

Основной причиной резких и значительных понижений давления воды во всасывающем коллекторе насосных подстанций на обратных трубопроводах является остановка насосов подстанции или сетевых насосов на станции, что может быть вызвано различными неисправностями, в том числе прекращением подачи электроэнергии. В связи с этим в схеме защиты используются не электрические, а гидравлические регуляторы давления. Измерительно-управляющие приборы автомата рассечки и регулятора давления получают импульс от давления на всасывающем коллекторе насосной подстанции. Регулирующие клапаны РК с мембранным приводом устанавливают на подающей магистрали подстанции. Их не рекомендуется устанавливать на всасывающих линиях насосов во избежание кавитации. Вокруг насосов рекомендуется предусматривать обводную линию для сохранения циркуляции в тепловых сетях в случае остановки насосов. С этой целью на обводной линии устанавливается обратный клапан.

Полное разделение тепловой сети на две гидравлически независимые зоны не требуется, если давление в обратной магистрали во время остановки насосной подстанции не превышает допустимого предела при некотором сокращенном расходе воды, который можно обеспечить частичным прикрытием регулирующего клапана. В таких случаях целесообразно применять двухседельные регулирующие клапаны. При частичном закрытии регулирующего клапана снижается вероятность возникновения гидравлического удара в подающем трубопроводе.

7.4. Автоматизация узлов горячего водоснабжения

Главная задача управления системой горячего водоснабжения – обеспечить заданную температуру воды при ее переменном потреблении, что достигается регулированием расхода сетевой воды, проходящей через теплообменник. Это можно осуществить с помощью индивидуальных регуляторов температуры в каждом месте разбора горячей воды. Однако такое решение существенно усложняет эксплуатацию систем горячего водоснабжения и является малоэффективным. Поэтому индивидуальные регуляторы в местах разбора горячей воды устанавливаются лишь в особых случаях.

При схеме с непосредственным водоразбором вода в систему подается из прямой и обратной линий тепловой сети в соотношениях, обеспечивающих температуру смеси 60 °С. Постоянная температура смеси регулируется терморегулятором, работающим в комплекте со смесительным регулирующим клапаном, имеющим два подводящих патрубка и один патрубок на выходе. К подводящим патрубкам присоединяются трубопроводы от прямой и обратной линий тепловой сети, а выходной патрубок соединен с трубопроводом систем горячего водоснабжения. При повышении температуры воды, поступающей в систему горячего водоснабжения, увеличивается подача воды в систему из обратной линии тепловой сети, а при понижении – из прямой линии тепловой сети. При автоматизации системы горячего водоснабжения, присоединенной к тепловой сети с помощью водяного подогревателя, температура воды, подаваемой в систему, регулируется регулятором прямого действия. При повышении температуры воды в системе горячего водоснабжения прикрывается клапан регулятора, уменьшая подачу горячей воды из теплосети в бойлер, а при понижении – открывается.

Системы горячего водоснабжения в зависимости от назначения объекта бывают с циркуляцией воды только при ее разборе (тупиковая система) и с циркуляцией воды при отсутствии водоразбора или при незначительном водоразборе. Система горячего водоснабжения может значительно охладиться. Чтобы избежать этого, устанавливают центробежный насос и монтируют циркуляционную линию трубопроводов. Датчик манометрического двухпозиционного регулятора

устанавливают на циркуляционной линии. При понижении температуры воды в системе горячего водоснабжения примерно до 45 °С срабатывает двухпозиционный регулятор и включается электродвигатель центробежного насоса, начинаются принудительная циркуляция воды в системе и подогрев ее в бойлере. При достижении температуры воды в циркуляционной линии 60 – 65 °С регулятор срабатывает и отключает электродвигатель насоса.

Для обеспечения качественного снабжения потребителей горячей водой необходима непрерывная работа циркуляционного насоса. Если работа насосов в ночное время не предполагается, то возможно их автоматическое выключение. При установке аккумуляторов для выравнивания графика отпуска теплоты на горячее водоснабжение предусматривается автоматическое управление зарядкой и разрядкой этих аккумуляторов. Выбор схемы автоматического регулирования температуры воды на горячее водоснабжение определяется принятой системой теплоснабжения (закрытая или открытая).

При закрытой системе теплоснабжения, когда на вводах горячего водоснабжения устанавливают водо-водяные подогреватели, широко применяется схема регулирования температуры нагреваемой воды путем изменения количества сетевой воды (рис. 7.7, а – в) или разделения потока сетевой воды трехходовым регулирующим клапаном на два: поступающий поток направляется в подогреватель, а перепускаемый – по обводной линии (рис. 7.7, г).

При таком способе регулирования обеспечивается примерно постоянный расход сетевой воды, что исключает полностью или частично гидравлическую разрегулировку тепловой сети. Однако постоянство расхода сетевой воды приводит к завышению температуры воды в обратном трубопроводе тепловой сети в период малых нагрузок горячего водоснабжения. При теплоснабжении от ТЭЦ это нежелательно, поскольку на ТЭЦ снижается выработка электроэнергии на тепловом потреблении.

При открытой системе теплоснабжения на узлах горячего водоснабжения отсутствуют водо-водяные подогреватели, горячая вода к потребителю поступает непосредственно из тепловой сети. Температура воды, поступающей в систему горячего водоснабжения, регулируется смешением потоков воды из подающего и обратного трубопроводов тепловой сети.

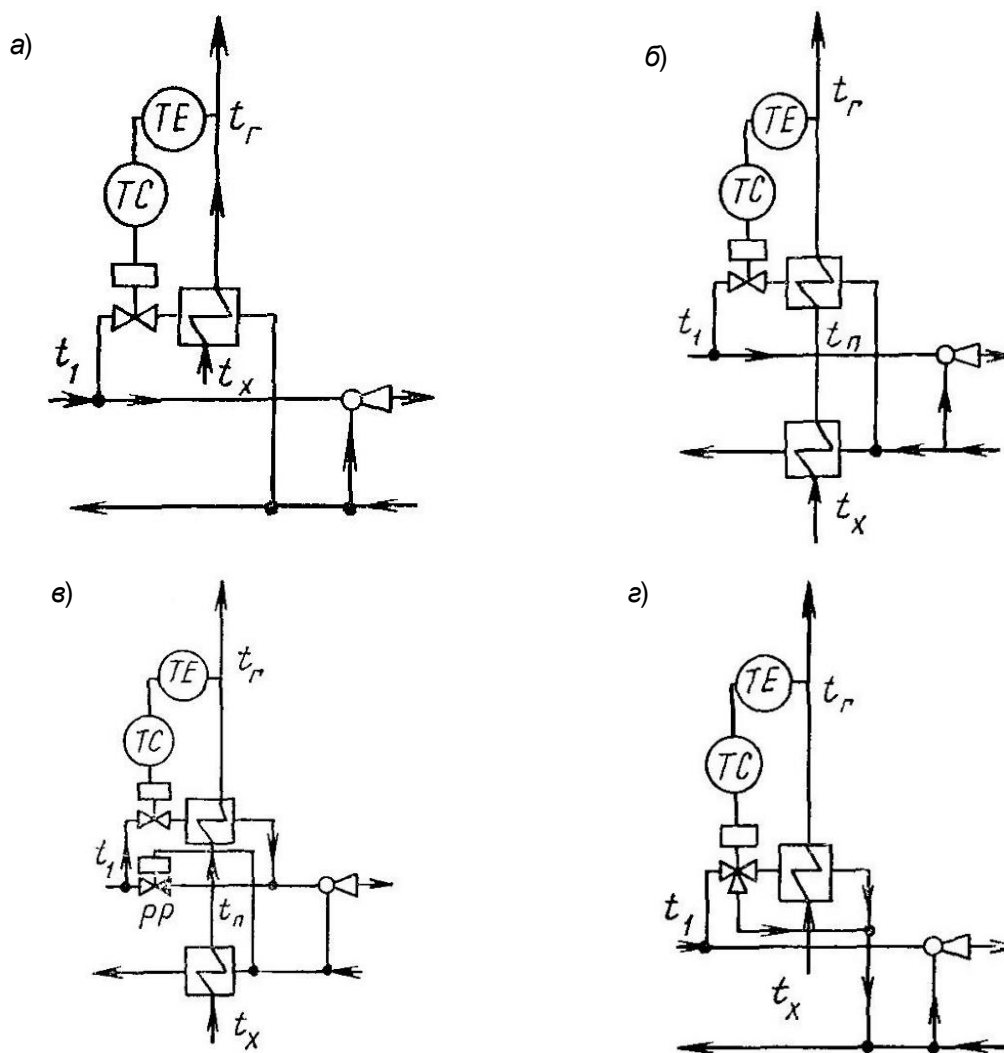


Рис. 7.7. Схемы автоматического регулирования температуры воды горячего водоснабжения при закрытой системе теплоснабжения: а – параллельная; б – смешанная двухступенчатая; в – двухступенчатая последовательная; г – схема с трехходовым регулирующим клапаном; ТС – регулятор температуры; PP – регулятор расхода; TE – измеритель температуры

Большое распространение получили также схемы с установкой регулирующего клапана на подающем трубопроводе и обратного клапана на обратном трубопроводе (рис. 7.8, а) и с применением трехпроводного клапана смешения (рис. 7.8, б).

Режим работы систем горячего водоснабжения отличается значительной неравномерностью расхода воды в течение суток, причем расход сетевой воды изменяется не только в течение суток, но и в течение года. Например, в системе горячего водоснабжения с параллельной схемой включения подогревателей при увеличении температуры воды в подающем трубопроводе тепловой сети с 70 до 150 °С

расход сетевой воды на горячее водоснабжение уменьшается примерно в 3,5 раза. При непосредственном водоразборе в открытых системах теплоснабжения увеличение температуры воды в подающем трубопроводе приводит к некоторому снижению ее расхода.

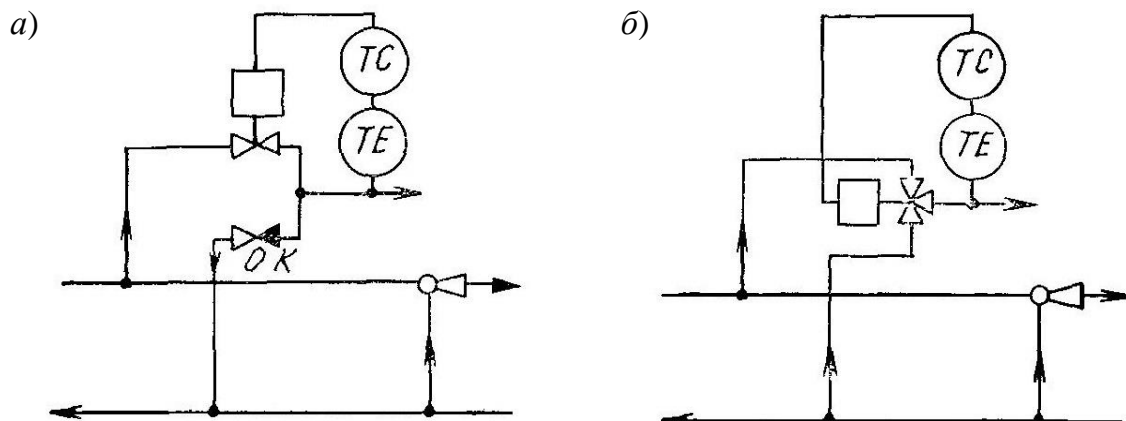


Рис. 7.8. Схемы автоматического регулирования температуры воды горячего водоснабжения при открытой системе теплоснабжения с двухходовым (а) и трехходовым (б) регулирующим клапаном

Водо-водяные подогреватели горячего водоснабжения могут быть представлены апериодическими звеньями с запаздыванием. На рис. 7.9 приведены кривые разгона подогревателя (конструкция теплосети Мосэнерго) при скачкообразных изменениях расходов сетевой и нагреваемой воды. Анализ кривых показывает, что τ/T подогревателя колеблется в пределах $0,08 < \tau/T < 0,18$.

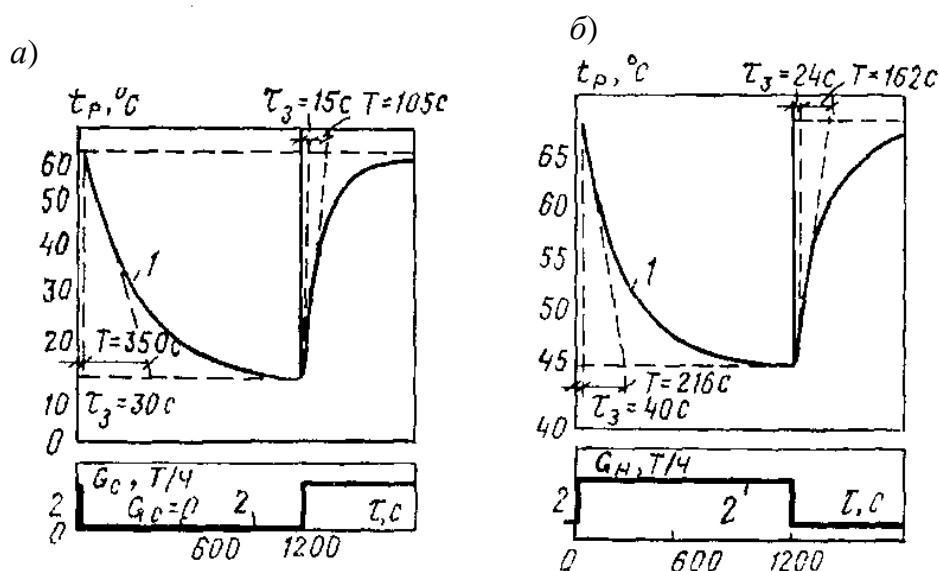


Рис. 7.9. Кривые разгона водо-водяного подогревателя при скачкообразном изменении расхода сетевой воды (а) и подогреваемой (б): 1 – кривая разгона; 2 – скачкообразное изменение расхода

При двухступенчатой (последовательной или смешанной) схеме включения подогревателей горячего водоснабжения регулирующей ступенью является вторая по ходу движения нагреваемой воды. Так как число секций этой ступени обычно меньше, а температура на входе нагреваемой воды во вторую ступень больше, чем при одноступенчатой (параллельной) схеме включения подогревателя, то динамическая характеристика двухступенчатого подогревателя отличается от одноступенчатого. Исследованиями установлено, что при переводе подогревателей горячего водоснабжения с одноступенчатой на двухступенчатую схему T и τ снижаются в 1,6 – 1,7 раза.

Пути решения задач надежности работы сети теплоснабжения в условиях нестабильности потребления горячей воды:

1. Установка циркуляционных клапанов.

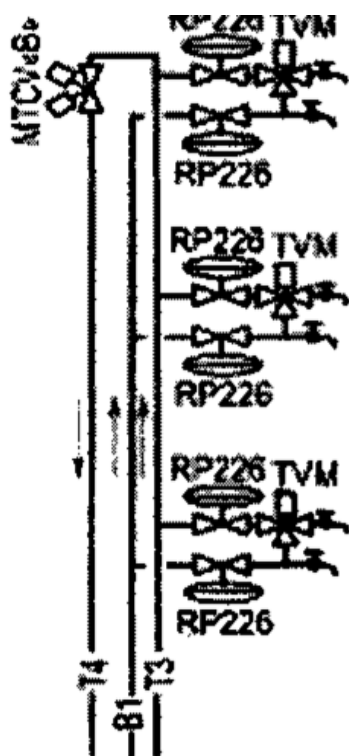


Рис. 7.10. Стабилизация давления воды у потребителей

Системы горячего водоснабжения в подавляющем большинстве случаев имеют переменный гидравлический режим. Гидравлически уравновесить такие системы возможно лишь автоматическими клапанами.

Схема системы горячего водоснабжения с многофункциональным термостатическим циркуляционным клапаном МТСV показана на рис. 7.10. При превышении температуры воды в циркуляционном трубопроводе над заданной на клапане он прикрывается, ограничивая циркуляцию до минимума, соответствующего теплотерям в трубопроводах. Если температура воды становится ниже заданного значения, клапан открывается и увеличивает ее циркуляцию. Таким образом, вся система находится в равновесном температурном и гидравлическом состоянии.

2. Устройство перемычек между магистральными сетями, проложенными радиально от одного или разных источников теплоты.

Спецификой отечественных систем горячего водоснабжения до недавнего времени, в отличие от западных, признана необходимость объединения в группы водоразборных стояков кольцующими перемычками в секционные узлы с присоединением каждого секционного узла одним циркуляционным трубопроводом к сборному циркуляционному трубопроводу системы. В секционные узлы объединяли от трех до семи водоразборных стояков.

Для такого проектного решения целесообразна установка терморегуляторов на циркуляционных участках, расположенных между точками присоединения последних водоразборных приборов на стояках и кольцующей перемычкой. Тогда терморегуляторы будут полностью справляться с возложенной на них задачей – терморегулированием системы, которое является следствием гидравлического регулирования.

3. Установка регуляторов давления.

Особенностями систем высотных зданий является неравномерность давления воды у потребителей разных этажей, вызванная действием гравитационного давления, которое не должно превышать 0,6 МПа либо 0,45 МПа, а также неравномерность давления вследствие увеличения количества потребителей. Устраняют эти недостатки применением регуляторов давления «после себя» RP-226 непосредственно перед потребителями.

В такой системе каждый потребитель находится в равных гидравлических условиях и не допускается разрушительное воздействие избыточного давления на водоразборные краны и пр. Кроме того, данный регулятор устраняет необходимость постоянного регулирования температуры воды смесителя, например в душе, из-за неравномерности водоразбора в системе горячего и холодного водоснабжения.

4. Наличие аккумулирующей емкости позволяет выравнивать неравномерность потребления горячей воды, а также уменьшить поверхность нагревателей исходя из условия расчета производительности водоподогревателей по среднечасовому расходу теплоты на горячее водоснабжение.

7.5. Автоматизация водяных систем отопления

Основная задача автоматизации водяных систем отопления – стабилизация температуры воздуха отапливаемых помещений. В последние годы все шире применяется программное регулирование отпуска теплоты на отопление, которое обеспечивает снижение температуры воздуха отапливаемых помещений административных и производственных зданий в ночное время суток и выходные дни. Рассматривается вопрос о целесообразности программного регулирования температуры воздуха в жилых зданиях.

В закрытых тепловых сетях с параллельной и двухступенчатой смешанной схемами абонентов регулирования отпуска теплоты на отопление присоединяют по отопительному графику путем стабилизации перепада давления на отопительных вводах. При неизменном гидравлическом сопротивлении системы отопления абонента постоянному перепаду давления соответствует постоянный расход сетевой воды.

При такой автоматизации решается только одна частная задача регулирования отпуска теплоты на отопление, не допуская случаев гидравлической разрегулировки тепловой сети. Сущность гидравлической разрегулировки состоит в том, что колебания расхода сетевой воды на горячее водоснабжение (или вентиляцию) вызывают изменение разности давлений подающей и обратной линии тепловой сети, а следовательно, изменение расхода воды на неавтоматизированных отопительных узлах. Кроме того, при уменьшении расхода сетевой воды у части абонентов происходит гидравлическая разрегулировка в тепловой сети и увеличивается расход сетевой воды на отопление у другой части абонентов, и наоборот.

Более сложным является регулирование расхода сетевой воды на ЦТП с двухступенчатой последовательной схемой присоединения абонентов, так как в этом случае расход воды на отопление должен изменяться по определенному закону в зависимости от температуры воды в подающем трубопроводе.

При неблагоприятном рельефе местности и больших потерях напора в тепловой сети автоматизацией отопительных вводов или ЦТП предусматривается поддержание постоянного давления в обратном трубопроводе систем отопления высоких или высоко расположенных зданий (широко применяются регуляторы давления «до себя» прямого действия.) Благодаря автоматизации исключается возможность утечки воды из систем отопления указанных зданий при колебаниях гидравлического режима тепловой сети.

При остановке насосов на обратном трубопроводе подстанции и значительном возрастании давления в обратном трубопроводе автоматика защищает отопительную систему от повышенного давления.

Как уже отмечалось, качественный отпуск теплоты отопительным абонентам в системах централизованного теплоснабжения возможен лишь при применении нескольких ступеней регулирования: центральной, групповой, местной, пофасадной и индивидуальной. Указанные ступени не противопоставляются, а дополняют одна другую. На каждой предыдущей ступени снимается часть возмущающих воздействий и тем самым облегчается работа последующих ступеней. В конкретных системах теплоснабжения та или иная ступень регулирования может отсутствовать (например, ступень индивидуального автоматического регулирования в каждом отапливаемом помещении).

Применяются три способа автоматического регулирования отпуски теплоты на отопление:

- 1) по отклонению температуры воздуха помещений;
- 2) по возмущению – изменению температуры наружного воздуха, скорости ветра, солнечной радиации;
- 3) комбинированный (по отклонению и возмущению).

Первый способ применяется при индивидуальном, а также местном (пофасадном) регулировании; второй (основной способ) – при регулировании на ТЭЦ и в котельной, он может быть использован также при групповом регулировании на ЦТП; третий способ регулирования применяется в индивидуальных тепловых пунктах (ИТП).

Схемы автоматического регулирования отпуска теплоты на отопление

Групповое регулирование (на ЦТП). Принципиальные схемы группового автоматического регулирования отпуска теплоты на отопление приведены на рис. 7.11, а. Применение этих схем практически исключает возможность вертикальной разрегулировки отопительных систем при значительных сокращениях расхода сетевой воды. Регулирование осуществляется ПИ-регулятором соотношения температур, который изменяет температуру воды в подающем трубопроводе за ЦТП в зависимости от температуры наружного воздуха в соответствии с отопительным температурным графиком.

Вместо датчика температуры наружного воздуха может применяться так называемый датчик метеоусловий, который представляет собой термометр сопротивления, помещенный в камеру в наружной стене одного из зданий. Снаружи камера закрыта прозрачной крышкой с отверстиями для отпуска солнечной радиации и обдува термометра сопротивления. Такой датчик учитывает не только изменение температуры наружного воздуха, но и скорость ветра, и величину солнечной радиации.

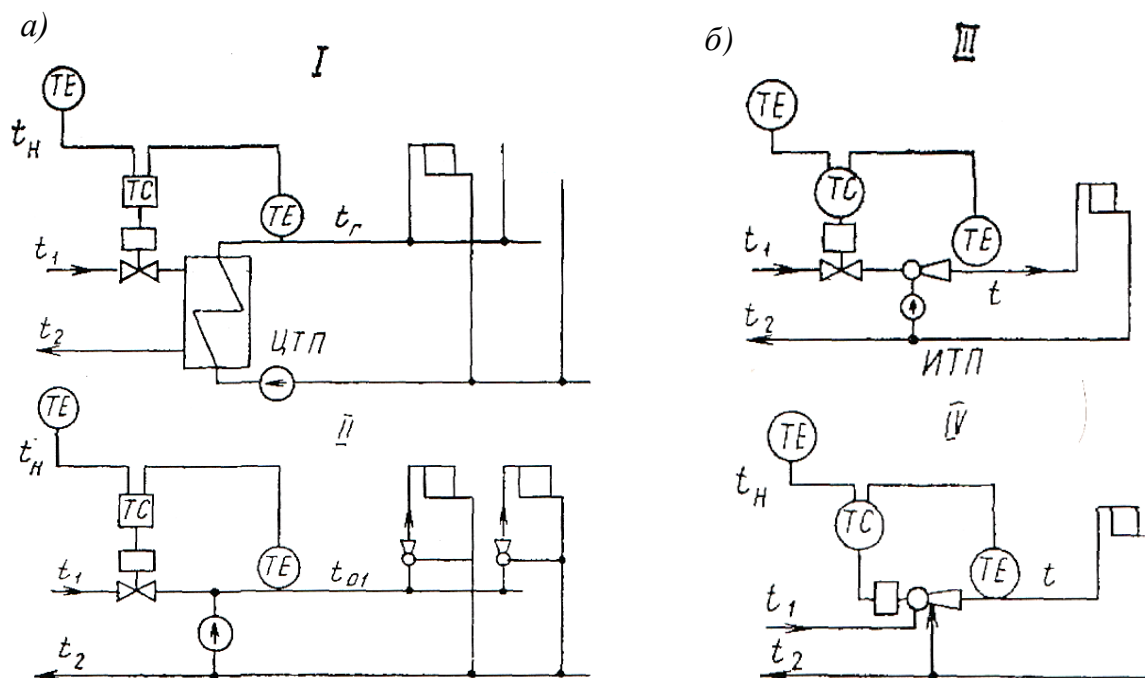


Рис. 7.11. Схемы группового (а) и местного (б) автоматического регулирования отпуска теплоты на отопление по возмущению; I – независимое присоединение; II – с подмешивающими насосами на ЦТП; III – совместная работа элеватора и насоса, IV – элеватор с регулирующим соплом

Для исключения влияния гидравлической разрегулировки тепловой сети на режим отпуска теплоты на отопление дополнительно устанавливают регуляторы перепада давления между подающей и обратной линией.

Местное регулирование. В схемах местного автоматического регулирования отпуска теплоты на отопление (в ИТП) можно использовать способ регулирования по возмущению, а также применять схемы с совместной работой элеватора и насоса и с регулируемым элеватором (рис. 7.11, б). Эти схемы позволяют увеличивать коэффициент смещения элеватора по мере снижения расхода сетевой воды.

В ИТП можно применить и способ регулирования по отклонению температуры воздуха в контрольных (представительных) помещениях здания. Наиболее эффективным считается местное регулирование (рис. 7.12, а), которое может обеспечить значительную экономию теплоты. Представляют интерес разработка и внедрение схем автоматического регулирования пофасадных (позонных) панельных бифилярных систем отопления (рис. 7.12, б). Схемой обеспечивается глубокое количественное регулирование систем панельного отопления без смещения. Применяются электронные П-регуляторы с электрическими исполнительными механизмами для перемещения регулирующего органа. Отпуск теплоты на отопление в ИТП можно регулировать двухпозиционным регулятором местных пропусков, который отключает систему отопления от тепловой сети при превышении заданной температуры воздуха в контрольных помещениях здания.

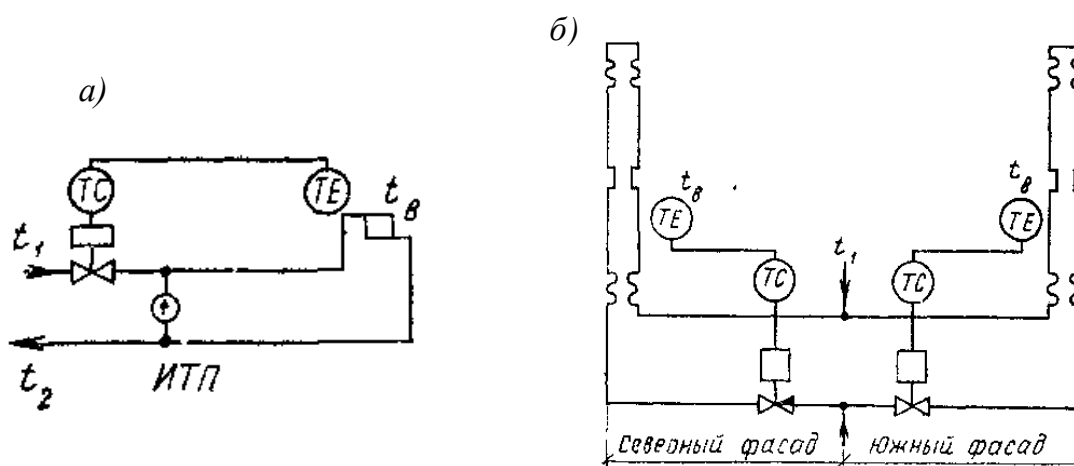


Рис. 7.12. Схемы местного (а) и пофасадного (б) автоматического регулирования отпуска теплоты на отопление по отклонению температуры воздуха помещений

Индивидуальное регулирование. Осуществляется в каждом отапливаемом помещении или группе помещений с одинаковым температурным режимом. Как правило, применяют двухпозиционные или П-регуляторы прямого действия. Индивидуальное регулирование нейтрализует возмущающие воздействия, возникающие в отдельных помещениях вследствие внутренних тепловыделений, солнечной радиации и т. д.

Управление системой и поддержание заданной температуры в помещениях загородного дома, оснащенного двухконтурной системой отопления, состоит в управлении положением клапанов отопительных приборов, размещенных в комнатах и помещениях, и, кроме того, положением клапанов бойлера и скоростью циркуляции теплоносителя по внутреннему контуру. Пользователь настраивает режимы и программы отопления помещений с помощью панели управления. Термодатчики, размещенные в различных помещениях загородного дома, преобразовывают значения температуры окружающей среды в соответствующие им электрические сигналы, которые поступают на входные модули контроллера. Показания температурных датчиков контроллер сравнивает со значениями, установленными пользователем. В зависимости от результатов сравнения входные модули формируют соответствующие сигналы и посылают их на исполнительные устройства. Таким образом, контроллер управляет режимами отопления всех контролируемых им помещений.

Гибкое программное обеспечение управляющего контроллера позволяет значительно увеличить количество возможных режимов работы системы отопления. В процессе работы владелец дома может оперативно изменить любые настройки и режимы всей системы отопления. Кроме того, управляющие функции системы легко могут быть расширены при контроле и управлении котлами, бойлерами, циркуляционными насосами и другим оборудованием. Подключенные к программируемому контроллеру коммуникационные устройства позволяют контролировать температуру в помещениях и изменять настройки системы управления на больших расстояниях через сотовую связь. Оснащенная указанными устройствами система сообщает

владельцу строения о возникшей неисправности, в результате чего он сможет своевременно принять меры по ее устранению и не допустить размораживания строения.

Правильно составленная схема узла управления системы отопления имеет централизованный характер (рис. 7.13), т. е. на ответственных участках магистрали, котле и радиаторах отопления устанавливаются управляющие элементы – терморегуляторы, контроллеры. Они же подключаются к единому управляющему узлу. Он называется программатором, или устройством для контроля работы теплоснабжения. Для создания эффективной системы управления у котла должен быть электронный блок работы, который содержит клеммы для подключения к внешнему программатору.

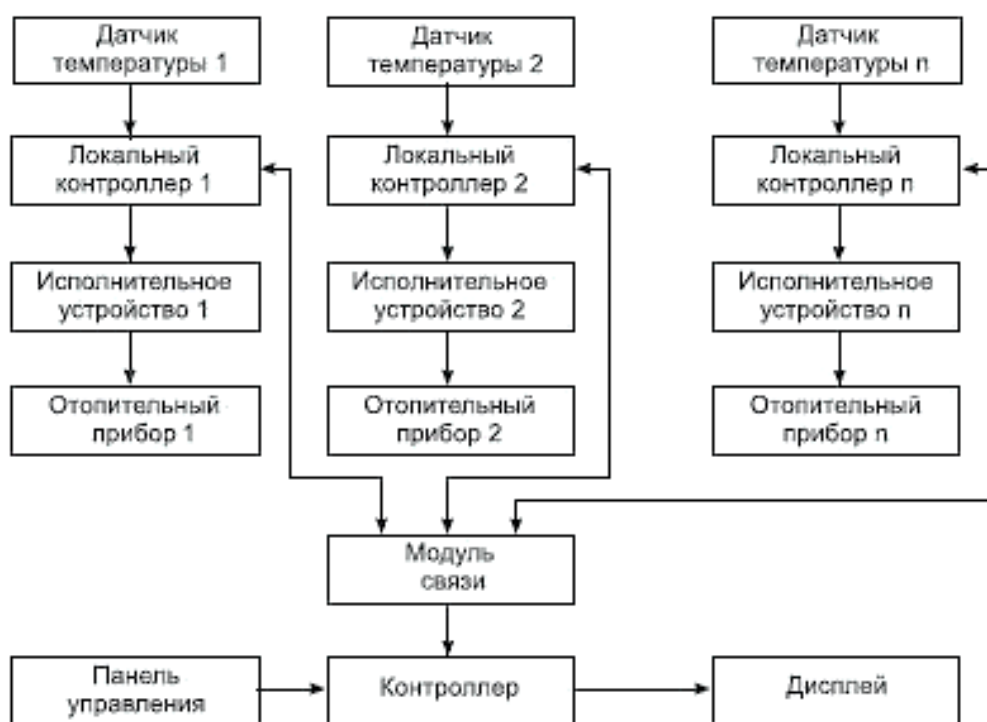


Рис. 7.13. Структурная схема системы управления

Для выбора оптимальной модели необходимо знать основные функциональные качества программатора:

- число подключаемых контуров можно варьировать от 1 до 12. Дополнительно устанавливается модуль для увеличения количества разъемов;

- режимы работы системы: в зависимости от настроек можно устанавливать управление радиаторами отопления в экономичном режиме, нормальном и комфортном;
- подключаемый модуль – управление отоплением по телефону. GSM станция передает требуемую информацию через СМС (температуру теплоносителя, оповещение об аварийном режиме и т. д.);
- наличие радиопередатчиков для создания беспроводных каналов связи между подключаемыми компонентами отопления.

В совокупности установленное оборудование называется рамкой управления отоплением. Она может состоять из компонентов с различным функционалом. Одинаковым остается назначение – возможность автоматического или полуавтоматического изменения параметров теплоснабжения.

Но помимо локальных устройств есть и зональные, устанавливаемые на конкретные компоненты – котлы, радиаторы. Управляя отоплением через Интернет с помощью этих приборов, можно регулировать степень нагрева воды в системе, температурный режим в конкретной батарее. Зачастую такие устройства называют не программаторами, а электронными терморегуляторами. Они отличаются более доступной стоимостью и простотой монтажа. Для терморегуляторов не нужен шкаф управления отоплением, что снижает трудоемкость обустройства. В некоторых случаях возможно подключение нескольких терморегуляторов к единому блоку управления.

Модели программаторов отличаются количеством подключаемых компонентов системы. Они называются управляющими контурами. Для организации системы управления отоплением дома необходимо позаботиться о возможности удаленного контроля. Обеспечить эту функцию помогут специальные модули. Чаще всего они не входят в стандартную комплектацию программаторов и терморегуляторов. В зависимости от технических требований оно может обеспечивать следующие виды связи пользователя и управляющего элемента:

- GSM контроль. Данные передаются с помощью сотовой связи. Фактически это стационарный телефон с функциями формирования, отправки, получения и обработки СМС сообщений;

- подключение через Интернет. Характеризуется более расширенным функционалом и практически не ограничивается территориально. В этом случае пультом управления котлом отопления может быть планшет, ноутбук или любой ПК с установленным специальным программным комплексом.

Проще всего можно получать сообщения в виде СМС. Установленный в рамку управления отоплением блок будет передавать следующие данные:

- падение температуры и давления ниже (выше) критического уровня;
- аварийный отказ в работе котла – отключение электропитания, отсутствие энергоносителя. При этом возможна передача кода ошибки и ее описания.

Особенности применения термостатики для отопления полом

В случае совместного функционирования системы отопления полом и традиционного радиаторного отопления с параметрами 90/70 °С необходимо использовать узлы подмеса, понижающие параметры теплоносителя (60/50 °С).

Накладной датчик термостата 5 устанавливают на подающий трубопровод после насоса либо на обратный трубопровод (рис. 7.14). Ручной дроссель 4 (кран) грубой регулировки должен быть отрегулирован так, чтобы при максимальных параметрах воды в котле и максимально открытом клапане 3 температура подачи в системе отопления полом не превышала 60/50 °С.

Схема с использованием трехходового термостатического клапана на узле смешения позволяет более динамично изменить температуру в системе отопления полом. Можно также использовать трехходовой клапан разделительного типа, установив его на обратной магистрали. Местное регулирование ветвей системы отопления полом осуществляется посредством использования на распределителе системы отопления полом на каждой отдельной ветви термостатического клапана в сочетании с настенным термодатчиком. В качестве термостатов можно применять термостаты с дистанционным регулиро-

ванием или электронные регуляторы в комплекте с термоприводом. Такое регулирование позволяет поддерживать температуру в помещении на заданном уровне. Распределители устанавливают в шкафчиках (наружных или встраиваемых), что придает эстетичный вид оборудованию и обеспечивает защиту от несанкционированного доступа. Термодатчики располагают на высоте 1,2 – 1,5 м от пола. При установке теплых полов и их регулировании следует учитывать, что помещение при помощи теплых полов прогревается быстрее, чем при помощи отопительных приборов. Соответственно остывание происходит тоже медленнее. Использование теплых полов совместно с отопительными приборами (радиаторами) без непосредственного их регулирования может привести к перегреву помещения, тем самым создать некомфортные условия для жизни и деятельности человека в этом помещении.

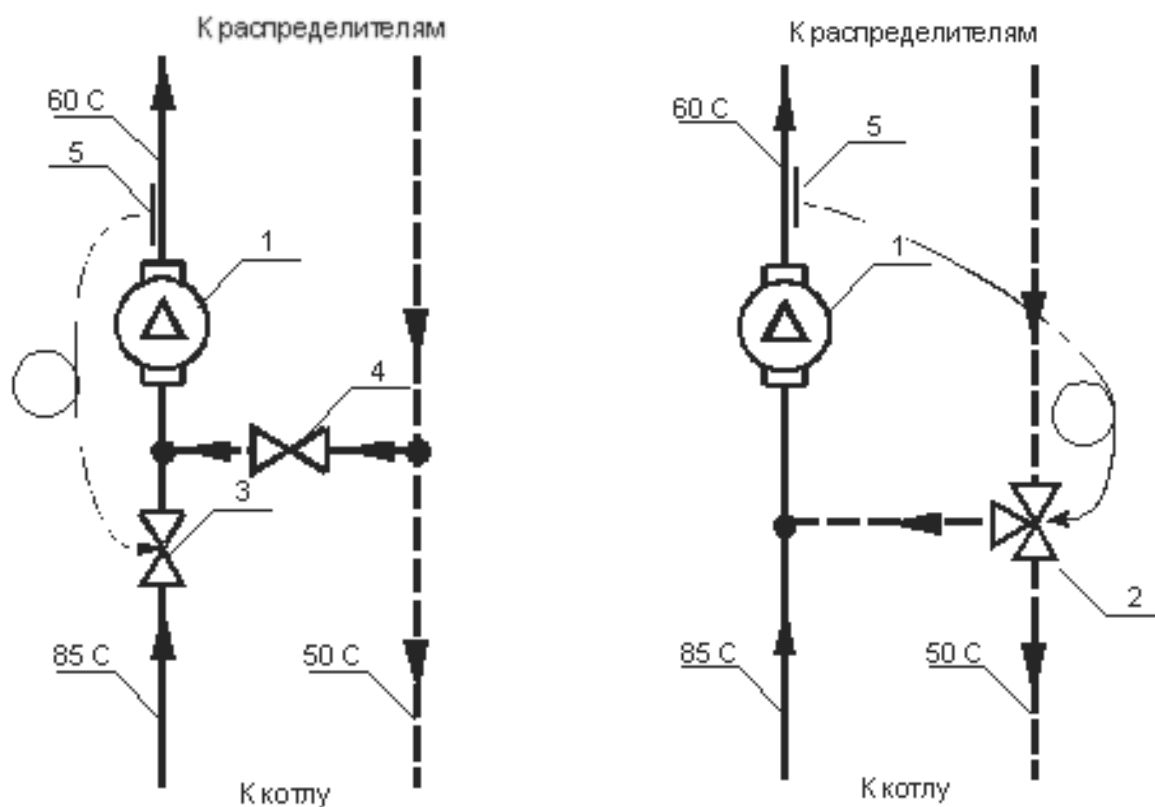


Рис. 7.14. Схема смесительной установки с фиксацией диапазона регулирования температуры подачи: 1 – циркуляционный насос; 2 – трехходовой термостатический клапан; 3 – термостатический клапан; 4 – вентиль предварительной регулировки; 5 – накладной датчик термостата

7.6. Автоматизация систем воздушного отопления и воздушных тепловых завес

Основная задача автоматизации систем воздушного отопления со 100%-ной рециркуляцией воздуха – поддержание постоянной температуры воздуха отапливаемых помещений. В более сложных системах воздушного отопления дополнительно предусматривается снижение температуры воздуха отапливаемых помещений в отдельные часы суток и дни недели по заданной программе.

Наиболее распространенным способом регулирования температуры воздуха помещения является регулирование теплопроизводительности отопительного агрегата путем изменения расхода сетевой воды через воздухонагреватель. На рис. 7.15, *а* приведена схема автоматизации отопительного агрегата с вентилятором. При понижении температуры воздуха помещения ниже заданной срабатывает двухпозиционный регулятор и открывается клапан на линии теплоносителя (к воздухоподогревателю). Одновременно по команде этого регулятора включается вентилятор. При достижении заданной температуры регулятор дает команду на закрытие клапана и выключение вентилятора.

К разновидности установок воздушного отопления относят воздушно-тепловые завесы непрерывного и периодического действия. При автоматизации периодически действующих установок воздушно-тепловой завесы широко применяется схема, приведенная на рис. 7.15, *б*. При открытии ворот (дверей) по команде концевого выключателя открывается клапан на линии теплоносителя к воздухоподогревателю и включается вентилятор. При открытых воротах температура воздуха в их зоне естественно снижается даже при включенной установке, которая продолжает работать и после закрытия ворот. При этом температура воздуха в зоне ворот постепенно повышается. Когда температура воздуха достигнет заданного значения, срабатывает двухпозиционный терморегулятор, который закрывает клапан на линии теплоносителя и выключает вентилятор.

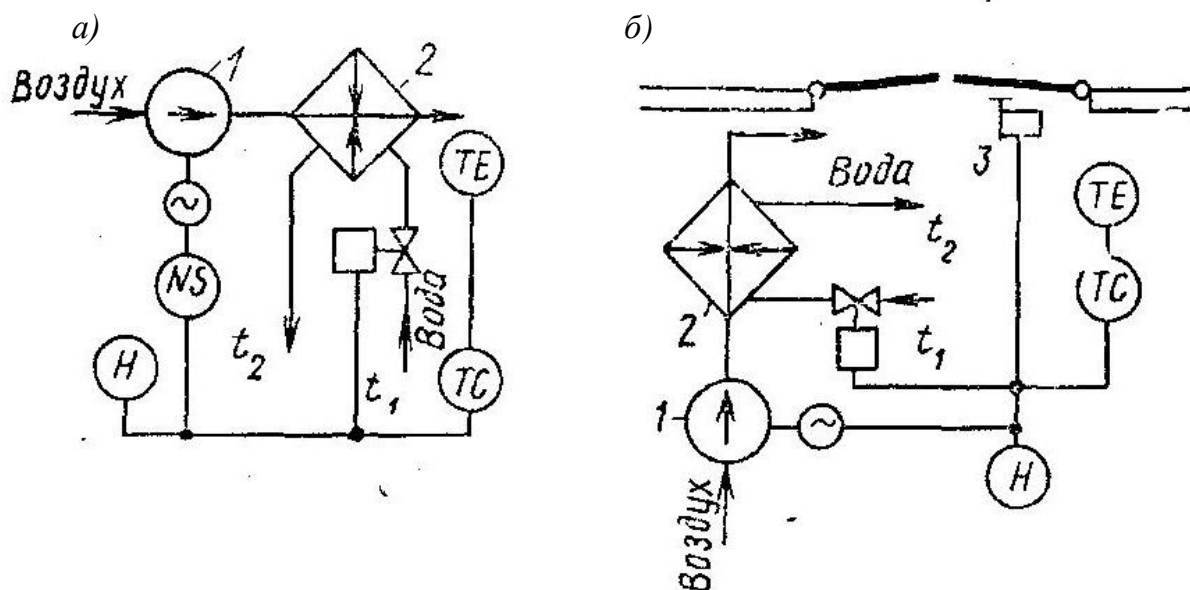


Рис. 7.15. Схема автоматизации установок воздушного отопления (а) и воздушно-тепловой завесы (б): 1 – вентилятор; 2 – воздухоподогреватель; 3 – концевой выключатель

Схемой предусматривается ручное управление воздушно-тепловой завесой. При условии кратковременного открытия ворот установка воздушно-тепловой завесы включается и выключается по команде концевого выключателя.

7.7. Вопросы и задания для самопроверки

1. Назовите цели системы автоматизации и управления процессом теплоснабжения.
2. Какие существуют способы регулировки тепловых и гидравлических режимов в сети теплоснабжения?
3. Назовите основное назначение системы управления подпиточными насосами.
4. Какую роль играет система автоматического регулирования уровня воды в деаэрационном баке?
5. Объясните принцип действия системы регулирования температуры сетевой воды за подогревателями.

6. Как следует поддерживать рабочее состояние резервных сетевых насосов в целях повышения эффективности работы сети теплоснабжения?
7. Объясните, какие функции выполняет система управления насосной подстанцией?
8. Назовите пути решения задачи повышения надежности сети теплоснабжения в условиях нестабильности потребления горячей воды.

ГЛАВА 8

АВТОМАТИЗАЦИЯ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

8.1. Задачи и принципы автоматизации котельных установок

Надежная, экономичная и безопасная работа котельной с минимальным числом обслуживающего персонала возможна только при наличии теплового контроля, автоматического регулирования и управления технологическими процессами, сигнализации и защиты оборудования.

Объем автоматизации принимается в соответствии с СНиП II-35-76 и требованиями заводов-изготовителей тепломеханического оборудования. Для автоматизации применяются серийно выпускаемые приборы и регуляторы. Проект автоматизации котельных разрабатывается на основании задания, составленного при выполнении теплотехнической части проекта. Контроль за работой котельных установок осуществляет Ростехнадзор, проводя периодические обследования котельных.

Контроль и управление работой любой энергетической установки, в том числе котла, предусматривают следующие общие задачи:

- обеспечение выработки в каждый данный момент необходимого количества теплоты (пара, горячей воды) при определенных его параметрах – давлении и температуре;
- достижение экономичности сжигания топлива, рационального использования электроэнергии для собственных нужд установки и доведение потерь теплоты до минимума;
- обеспечение надежности и безопасности, т. е. установление и сохранение нормальных условий работы каждого агрегата, исключаяющих возможность неполадок и аварий как собственно агрегата, так и вспомогательного оборудования.

Автоматизация котельной может быть полной, при которой оборудование управляется дистанционно с помощью приборов, аппаратов и других устройств без участия человека с центрального щита путем телемеханизации. Комплексная автоматизация предусматривает автоматическое управление основным оборудованием и наличие по-

стоянного обслуживающего персонала. Иногда применяется частичная автоматизация только некоторых видов оборудования. Степень автоматизации котельной определяется технико-экономическими расчетами.

При любой степени автоматизации обязательно соблюдение требований Ростехнадзора, предъявляемых к котлам разной производительности, давления и температуры. В соответствии с этим ряд приборов автоматики является обязательным, некоторые из них должны быть дублированы.

Автоматизацией котельной обеспечивается контроль следующих параметров:

- расхода пара, воды, топлива, иногда воздуха, дымовых газов;
- давления пара, воды, газа, мазута, воздуха и разрежения в элементах и газоходах котла и вспомогательного оборудования;
- температур пара, воды, топлива, воздуха и дымовых газов;
- уровня воды в барабане котла, циклонах, баках, деаэраторах, уровня топлива в бункерах и других емкостях;
- качественного состава дымовых газов, пара и воды.

Принципиальная схема теплового контроля за работой парового котла со слоевой топкой показана на рис. 8.1. Кроме приборов, выведенных на щит управления, часто применяется местная установка контрольно-измерительных приборов: термометров для измерения температур воды, пара, мазута; манометров и вакуумметров для измерения давления и вакуума; различных тягомеров и газоанализаторов. Приборы необходимы не только для эксплуатации, но и периодических испытаний, проводимых после ремонтов или реконструкции.

В котельной подлежат автоматизации следующие процессы:

- регулирование в определенных пределах заранее заданных значений величин, характеризующих протекание процесса;
- управление – осуществление периодических операций (обычно дистанционно);
- защита оборудования от повреждений вследствие нарушений процессов;
- блокировка, которая обеспечивает автоматическое включение и выключение оборудования, вспомогательных механизмов и органов управления с определенной последовательностью в соответствии с технологическим процессом.

Применяется блокировка трех типов:

- запретительно-разрешающая, предотвращающая неправильные действия персонала при нормальном режиме эксплуатации;
- аварийная, вступающая в действие при режимах, могущих привести к травмированию персонала и повреждениям оборудования;
- замещающая, которая включает резервное оборудование взамен отключенного.

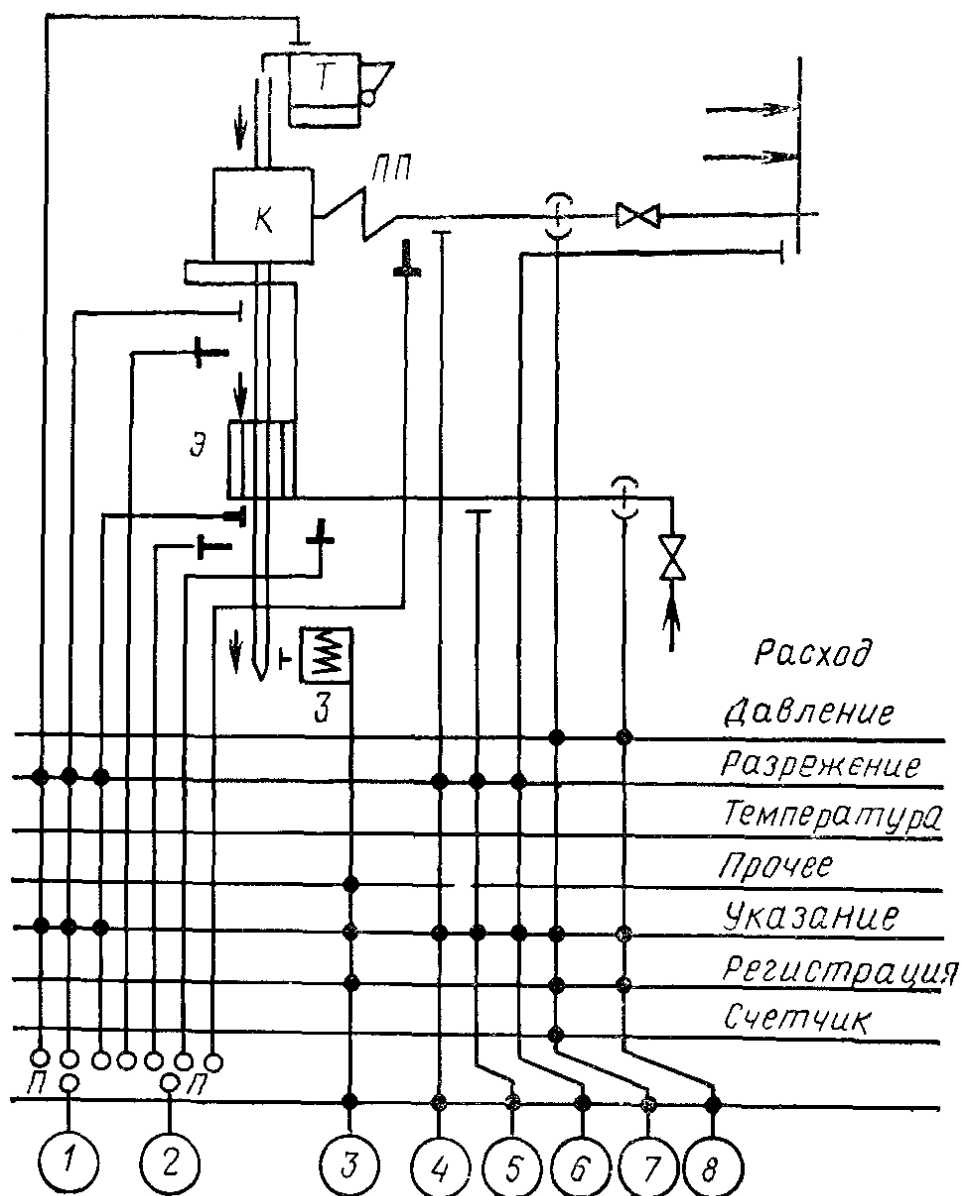


Рис. 8.1. Принципиальная схема теплового контроля работы котла со слоевой топкой: К – котел; Т – топка; Э – водяной экономайзер; ПП – пароперегреватель; П – переключатель; 1, 2, 3 – контроль разрежения, температуры, состава продуктов сгорания; 4, 5, 6 – контроль давлений; 7, 8 – контроль расхода

Системы автоматического регулирования (САР) решают задачи:

- стабилизации, при которой управляющее воздействие остается неизменным при всех режимах работы объекта, т. е. поддерживаются постоянными давление, температура, уровень и некоторые другие параметры;

- слежения (следающие системы), когда регулируемая величина или параметр изменяется в зависимости от значений другой величины, например, при регулировании подачи воздуха, в зависимости от расхода топлива;

- программного регулирования, когда регулируемый параметр изменяется во времени по заранее заданной программе, например, при циклических процессах (пусках и остановках оборудования).

В общем случае система автоматического регулирования барабанного парового котла состоит из следующих подсистем: процесса горения, температуры перегрева пара, питания (уровня воды в барабане) и водного режима.

Задачами регулирования процесса горения в топке котла являются поддержание расхода топлива в соответствии с расходом пара или теплоты, обеспечение подачи воздуха в топочное устройство в соответствии с расходом топлива для его экономичного сжигания и, наконец, регулирование давления дымовых газов на выходе из топки.

Зная количество теплоты по расходу пара, горячей воды или топлива, можно поддерживать расход воздуха пропорциональным расходу топлива, т. е. осуществлять схему «топливо – воздух». Эту схему целесообразно применять при сжигании природного газа и жидкого топлива, для которых теплоту сгорания можно считать постоянной во времени, и можно измерить их расход. Соотношение между поступлением топлива и воздуха при стационарном процессе может контролироваться по разрежению в топочной камере.

При переходных процессах может быть расхождение между количеством теплоты, выделенной сгоревшим топливом и воспринятой в агрегате. Эта разница пропорциональна скорости изменения давления пара во времени $a \frac{dp}{dt}$, где a – коэффициент, учитывающий степень изменения скорости и называемый условно «импульсом по теплоте». Поэтому при использовании импульса по расходу пара D вводят кор-

ректирующий импульс по теплоте $a \frac{dp}{dt}$, тогда суммарный импульс имеет вид $D + a \frac{dp}{dt}$.

При колебаниях величины a экономичность процесса не будет сохраняться, если не вводить дополнительную корректировку. В связи с этим предложена схема регулирования «пар – воздух», в которой подача топлива регулируется по импульсу от давления пара, а регулятор воздуха получает импульс от алгебраической суммы импульсов по расходу пара, топлива и воздуха.

Регулирование количества удаляемых дымовых газов обычно ведется по разрежению в топочной камере. При нескольких котлоагрегатах устанавливают главный регулятор, получающий импульс по заданному расходу теплоты и подающий корректирующие импульсы на регуляторы топлива или воздуха каждого из котлоагрегатов.

Кроме процесса горения, в паровых котлах обязательно автоматически регулируют подачу воды в барабан по импульсам от уровня воды, расхода пара и расхода питательной воды.

8.2. Системы автоматического регулирования процессов в котлах

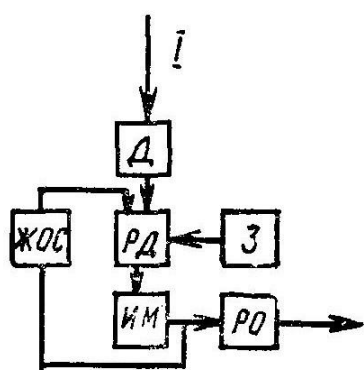


Рис. 8.2. Схема регулятора топлива: Д – датчик; РД – усилитель; З – задатчик; ИМ – исполнительный механизм; РО – регулирующий орган; ЖОС – жесткая обратная связь

Рассмотрим некоторые структурные схемы автоматического регулирования процессов в паровых и водогрейных котлах. Для паровых котлов с естественной циркуляцией необходима подача топлива в соответствии с нагрузкой по импульсу постоянства давления в барабане котла I (рис. 8.2).

При наличии нескольких паровых котлов имеется регулятор давления в общем паропроводе, поддерживающий определенное соотношение технологических параметров.

При работе котла на газе наиболее часто используется схема «топливо – воздух» (рис. 8.3, а). В этой схеме регулятор получает два импульса по измеряемому расходу газа I

или его давлению перед горелками II от датчика D_1 и по давлению воздуха в коробе перед горелками III котла D_2 .

При работе котла на мазуте из-за трудностей измерения его расхода один датчик ДП (рис. 8.3, б) получает импульс от перемещения выходного звена исполнительного механизма IV, а второй – по давлению воздуха аналогично схеме на рис. 8.3, а. Давление и вязкость мазута, направляемого к горелкам, необходимо поддерживать постоянными, контролируя подогрев мазута.

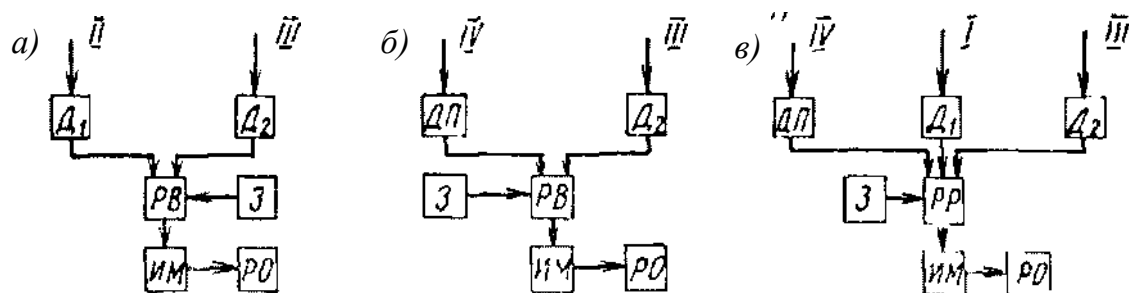


Рис. 8.3. Схемы регуляторов воздуха по расходу газа (а) для котлов, работающих на мазуте или твердом топливе (б), и паровых котлов, работающих на газе и мазуте (в): I – сигнал по расходу пара из котла; II – сигнал по расходу газа на котел; III – сигнал по расходу воздуха на котел; IV – сигнал от датчика перемещения исполнительного механизма регулятора топлива между общим расходом пара и производительностью котла

При сжигании твердого топлива в топках с пневмозабрасывателями и механическими решетками (рис. 8.3, б) регулятор воздействует на плунжер забрасывателя. Если паровой котел работает с постоянной нагрузкой, но с частыми переходами с газа на мазут и обратно, целесообразно использовать схему «пар – воздух» (рис. 8.3, в). Особенность схемы состоит в наличии импульса от измерения расхода пара и давления воздуха с корректировкой исчезающим импульсом от регулятора топлива. При этой схеме не требуется менять настройку регулятора при переходе с одного топлива на другое, но при работе котла с колебаниями производительности не всегда обеспечивается требуемый при этом избыток воздуха.

В паровых и комбинированных пароводогрейных котлах необходимо регулировать питание, т. е. подачу воды в соответствии с количеством отдаваемого пара и размером непрерывной продувки, что осуществляется регулятором питания. Наиболее простым признан одноимпульсный регулятор с датчиком от уровня воды в барабане (рис. 8.4, а). Эта схема с упругой обратной связью (УОС) широко ис-

пользуется в котлах малой, иногда средней мощности, работающих с постоянными нагрузками. В крупных котлах к импульсу по уровню воды в барабане котла добавляются импульсы от датчиков приборов, измеряющих расходы питательной воды и пара.

Для поддержания постоянства разрежения в топочной камере, что необходимо для безопасности обслуживающего персонала и предотвращения больших присосов воздуха в топку, используется однопольный астатический регулятор, воздействующий на направляющий аппарат дымососа (рис. 8.4, б).

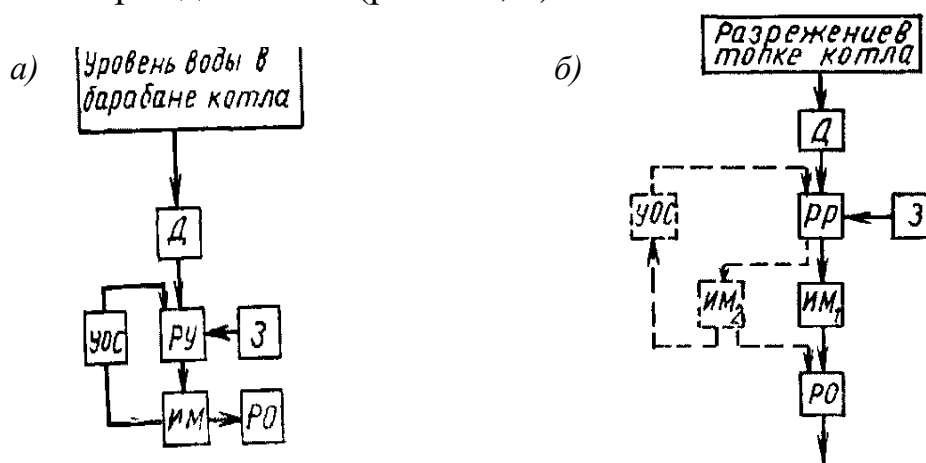


Рис. 8.4. Схема регулятора питания котла водой (а) и регулятора разрежения в топке (б): РР – регулятор разрежения; УОС – устройство обратной связи; РУ – регулятор уровня

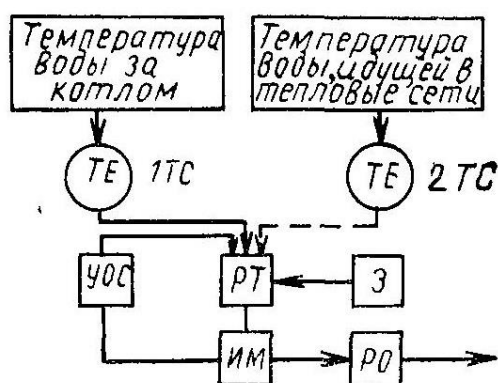


Рис. 8.5. Схема регулятора температуры воды за водогрейным котлом

При работе водогрейного котла в переменном режиме регулятор получает импульс от датчика 2ТС, измеряющего температуру воды, поступающей в тепловые сети потребителя, как показано на рис. 8.5 пунктиром.

Для водогрейных котлов, работающих в базовом режиме, применяются САР, поддерживающие постоянную температуру воды на выходе из котла (рис. 8.5).

Регулятор по импульсу от датчика 1ТС поддерживает заданную температуру воды за котлом, воздействуя на регулирующий орган на газопроводе или мазутопроводе, идущих к горелкам котла.

Водогрейные котлы типа ПТВМ, не имеющие дымососов и работающие с естественной тягой, регулируются изменением числа включенных горелок (дистанционно либо оператором).

Для поддержания приблизительно полного соответствия между расходом воздуха и топлива следует обеспечивать постоянное давление топлива перед горелками (рис. 8.6). Однако и при этой схеме трудно достигнуть экономичности сжигания топлива, получаемой при регуляторе «топливо – воздух».



Рис. 8.6. Схема регулятора давления топлива перед горелками котлов с естественной тягой

8.3. Автоматика безопасности котлов

Автоматика безопасности котлов предусматривает выполнение следующих процессов:

- контроль за правильным выполнением предпусковых операций: включение тягодутьевых устройств, заполнение котла водой и т. д.;
- контроль за нормальным состоянием основных параметров (при пуске и работе котла);
- дистанционный розжиг запальника со щита управления;
- автоматическое прекращение подачи газа к запальникам после кратковременной совместной работы запальника и основной горелки (для проверки горения факела основных горелок);
- автоматическое прекращение подачи топлива в аварийных режимах.

Подача газообразного и жидкого топлива прекращается при повышении давления пара в барабане котла, понижении давления воздуха (в смесительных горелках), повышении и понижении давления воздуха (в смесительных горелках), повышении и понижении давления газа, уменьшении разрежения в топке, повышении или понижении уровня воды в барабане, погасании факела в топке, при неисправности аппаратуры автоматики безопасности.

В котлах со слоевым сжиганием твердого топлива предусмотрено отключение тягодутьевых устройств.

Сигнализация котлоагрегата и вспомогательного оборудования срабатывает при прекращении подачи топлива, повышении давления пара и колебаниях уровня воды в барабане, повышении температуры воды за водогрейным котлом, колебаниях температуры мазута, давления газа, понижении давления питательной воды и для контроля состояния электродвигателей, управляемых со щита автоматизации.

Кроме автоматического управления паровых и водогрейных котлов, при комплексной автоматизации котельных автоматизируется работа деаэраторов, аппаратов химической водоподготовки, редукционно-охладительных и редукционных установок, контролируется положение уровня в баках для жидкого топлива, баках-аккумуляторах; автоматически регулируются давление в общем напорном мазутопроводе и температура воды перед водоподготовкой, за теплообменниками для сетевой воды и воды для горячего водоснабжения.

В полностью автоматизированных установках с защитами и блокировками применяется телемеханизация, т. е. автоматический пуск, регулирование и остановка объекта, осуществляемые дистанционно с помощью приборов, аппаратов или других устройств без участия человека. При телемеханизации на центральный пункт управления, откуда контролируется работа находящихся на значительном расстоянии теплоснабжающих установок, выносятся главные приборы, по которым можно проверять работу основного оборудования, и ключи управления.

Автоматизация работы котельных агрегатов помимо повышения надежности и улучшения условий труда обеспечивает определенную экономию топлива. При автоматизации регулирования процесса горения и питания агрегата экономия топлива составляет около 1 – 2 %, при регулировании работы вспомогательного котельного оборудования – 0,2 – 0,3 % и при регулировании температуры перегрева – 0,4 – 0,6 %. Однако общие затраты на автоматизацию не должны превышать 10 % стоимости установки.

8.4. Регулировка соотношения «топливо – воздух»

Наиболее распространенным для отечественного уровня автоматизации котельной техники является параллельное управление. Такая система воспринимает информацию о давлениях регулируемых потоков и настраивается на оптимальное (на момент наладки) соотношение «топливо – воздух» при номинальной нагрузке. Найденное таким образом соотношение поддерживается постоянным при любых нагрузках котла. Результатом будет существенное падение КПД котла на малых нагрузках. К упомянутым возмущающим воздействиям относятся колебания теплоты сгорания топлива, нагрузки агрегата, температуры и влажности топлива и воздуха, техническое состояние горелок и всего агрегата, состояние тягодутьевого оборудования, а также износ направляющих аппаратов и исполнительных механизмов.

Система регулирования с перекрестным ограничением получает информацию о расходах топлива и воздуха, что позволяет более точно выдерживать соотношение их потоков, хотя и она не избавлена от недостатка настройки только на номинальный режим. При этом система с датчиками расхода значительно дороже.

Вывод из этого короткого анализа прост: *соотношением «топливо – воздух» необходимо управлять во всем диапазоне нагрузок*. Инструментом такого управления можно назвать косвенное измерение коэффициента избытка воздуха и последующая его коррекция.

Компонентами продуктов сгорания, информация о содержании которых может использоваться для измерения коэффициента избытка воздуха и его последующей коррекции, могут быть диоксид углерода CO_2 , кислород O_2 и продукты химического недожога (CO , H_2 , CH_4 или их сумма, которую часто обозначают как $\text{CO}_{\text{экв}}$ из-за малости двух последних компонентов). На рис. 8.7 приведен пример зависимости основных показателей эффективности и экологичности сжигания топлива от коэффициента избытка воздуха α .

Поэтому традиционно применяются следующие методы управления:

- по концентрации остаточного кислорода (O_2) в продуктах сгорания;

- по концентрации продуктов химического недожога (CO);
- с использованием совместной информации о концентрации O_2 и продуктов неполного горения CO.

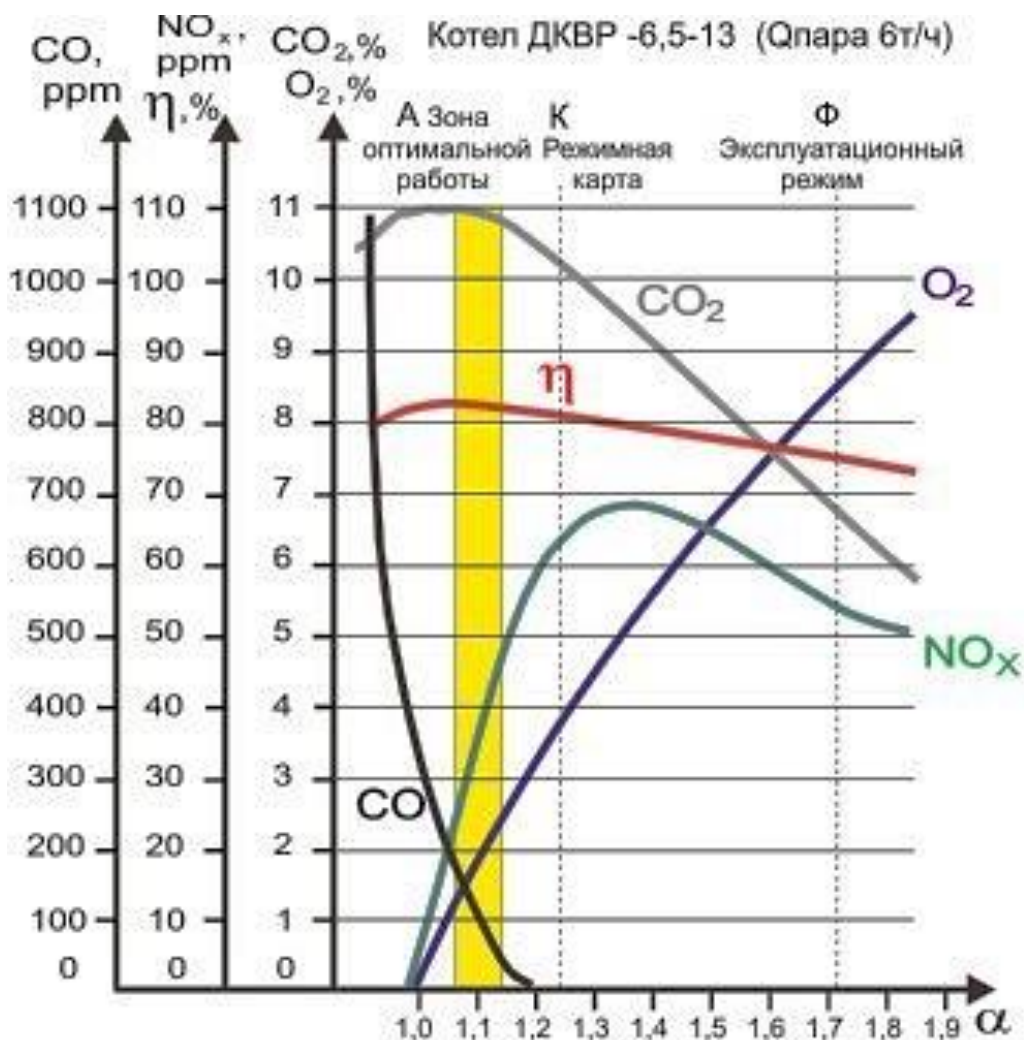


Рис. 8.7. Типичная зависимость показателей качества сжигания топлива от коэффициента избытка воздуха

Для контроля экономичности, качества сжигания топлива и управления этим процессом ЗАО НПФ «УРАН-СПб» разработано целое семейство стационарных анализаторов дымовых газов. В список входят следующие приборы:

- простой анализатор кислорода в дымовых газах O_2 -МАДГ-2;
- простой анализатор оксида углерода в дымовых газах CO-МАДГ-1;

- комбинированный анализатор дымовых газов КАДГ-2, в корпусе которого размещены датчики кислорода и оксида углерода;
- интеллектуальный анализатор качества горения топлива ИАКГ-2, который содержит датчики кислорода, температуры дымовых газов и воздуха; микропроцессорное вычислительное устройство, рассчитывающее основные параметры качества горения топлива;
- корректор-анализатор качества горения топлива КАКГ-1, в корпусе которого размещены датчики кислорода, температуры и давления дымовых газов; вычислительное устройство качества горения топлива и регулятор, корректирующий подачу воздуха на горение.

Блок-схема системы «Факел-2» с подключенным к ней штатным технологическим оборудованием изображена на рис. 8.8 и наглядно иллюстрирует принципы ее работы.

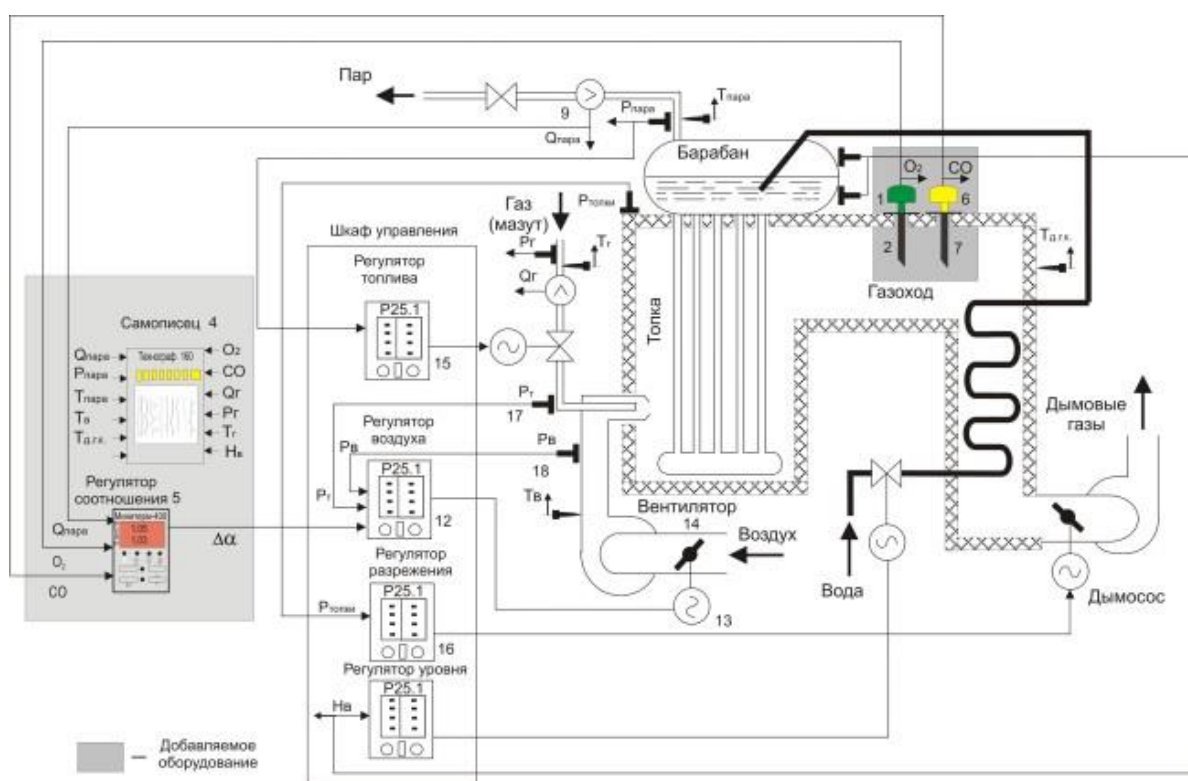


Рис. 8.8. Система автоматического контроля и управления экономичным сжиганием топлива «Факел-2»

Датчики кислорода 1 и оксида углерода 6 установлены непосредственно в газоходе за котлом в точке, обеспечивающей их надежное омывание дымовыми газами через пробозаборные зонды 2 и 7.

Электрические сигналы от датчиков технологических параметров поступают на входы самописца для регистрации и расчетов, а также на входы микропроцессорного регулятора 5. На один из входов регулятора поступает также сигнал от расходомера пара 9, характеризующий нагрузку котла. Выходной корректирующий сигнал регулятора соотношения «топливо – воздух» 5 подается на третий вход штатного регулятора воздуха 12. Штатная система регулирования котлоагрегата должна содержать также работоспособные регуляторы топлива 15, разрежения в топке 16 и уровня с соответствующими технологическими датчиками, регулирующими органами и исполнительными механизмами.

Можно следующим образом сформулировать основные принципы управления сжиганием топлива на действующем оборудовании:

- первичная установка соотношения «топливо – воздух» осуществляется штатной системой автоматики, действующей на принципах параллельного или перекрестного ограничительного регулирования. Это считается даже предпочтительным, поскольку позволяет грубо, но очень быстро реагировать на изменение нагрузки агрегата;

- по результатам измерения концентрации кислорода микропроцессорный регулятор корректирует соотношение «топливо – воздух» в соответствии с заложенной в его программу кривой «нагрузка – O_2 », что обеспечивает близкие к оптимальным показатели сжигания топлива (без учета возмущающих факторов и изменения технического состояния котла);

- измерение концентрации CO в продуктах сгорания позволяет осуществить дальнейшее приближение режима работы котла к оптимуму. Законом регулирования при этом является минимально возможный в данных условиях избыток воздуха на границе появления химического недожога. Диапазон значений концентраций CO для коррекции избытка воздуха индивидуален для каждого агрегата, но в качестве обобщенной рекомендации можно говорить о принятии системой управления решения «воздуха много» при концентрации CO 50 %, а решения «воздуха мало» – при концентрации 200 %.

8.5. Вопросы и задания для самопроверки

1. Назовите основные задачи, выполняемые системой автоматизации и управления котельными установками.
2. Определите основные процессы, которые подлежат автоматизации в котельной.
3. Какие основные типы систем автоматического регулирования используются в управлении котельными установками?
4. Опишите процесс регулирования соотношения «топливо – воздух» в работе паровых и водогрейных котлов.
5. Каковы особенности в обеспечении оптимальной работы котлов при разных видах топлива?
6. Назовите, какие процессы контролирует автоматика безопасности котлов.
7. Какие еще задачи решает автоматизация котельных агрегатов с точки зрения эффективности работы котельной?

ГЛАВА 9

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ

9.1. Управление приточными камерами

При создании и внедрении систем автоматического регулирования вентиляции и кондиционирования воздуха необходимо знать характеристики как определенных элементов систем вентиляции и кондиционирования (СВК), так и системы в целом, которые описывают их поведение в переходных и установившихся режимах. Только по таким характеристикам можно оптимально выбрать регулятор, датчики, исполнительные механизмы, построить САР и произвести ее наладку.

Основным элементом СВК является обслуживаемое помещение, в котором постоянно совершается переход воздуха из одного состояния в другое. Для поддержания заданных параметров в обслуживаемое помещение подается приточный воздух с параметрами, отличными от параметров внутри помещения. Перемешиваясь с внутренним воздухом и вытесняя его, приточный воздух ассимилирует избыточное тепло и влагу или подогревает и увлажняет воздух помещения. Обслуживаемое помещение характеризуется рассредоточенными показателями воздуха. Учет рассредоточенных характеристик затруднен, поэтому помещение при решении задач автоматического регулирования рассматривается как объект с сосредоточенными параметрами, т. е. температура и влажность воздуха определяются в наиболее типичной (рабочей) зоне. Именно в такой зоне должны быть установлены датчики регулируемых параметров.

Управление температурой помещения с помощью изменения расходов приточного и удаляемого воздуха (количественное регулирование), несмотря на преимущества, связанные с экономией теплоты, воды и электроэнергии, уменьшении мгновенных и годовых расходов, реализуется редко. Это связано с относительно высокими капитальными затратами и сложностью управления особенно многозо-

нальными системами. Поэтому наиболее распространенными становятся системы стабилизации температуры в помещении по каналу изменения температуры приточного воздуха (качественное управление). Такие системы наиболее полно исследованы как объекты автоматизации: выведены аналитически и экспериментально подтверждены передаточные функции, значения коэффициентов передач и постоянных времени. Система автоматического управления приточной камерой работает следующим образом (рис. 9.1). Способ управления выбирают поворотом переключателя SA1 в положение «ручное» или «автоматическое», а выбор режима работы – переключателем SA2 поворотом его в положение «зима» или «лето». Ручное местное управление электродвигателем приточного вентилятора M1 производится кнопками SB1 «Стоп» и SB2 «Пуск» через магнитный пускатель KM; электроприводом M2 приемного клапана наружного воздуха кнопками SB5 «Открытие» и SB6 «Закрытие» через промежуточные реле и собственные конечные выключатели; электроприводом M3 трехходового клапана на теплоносителе.

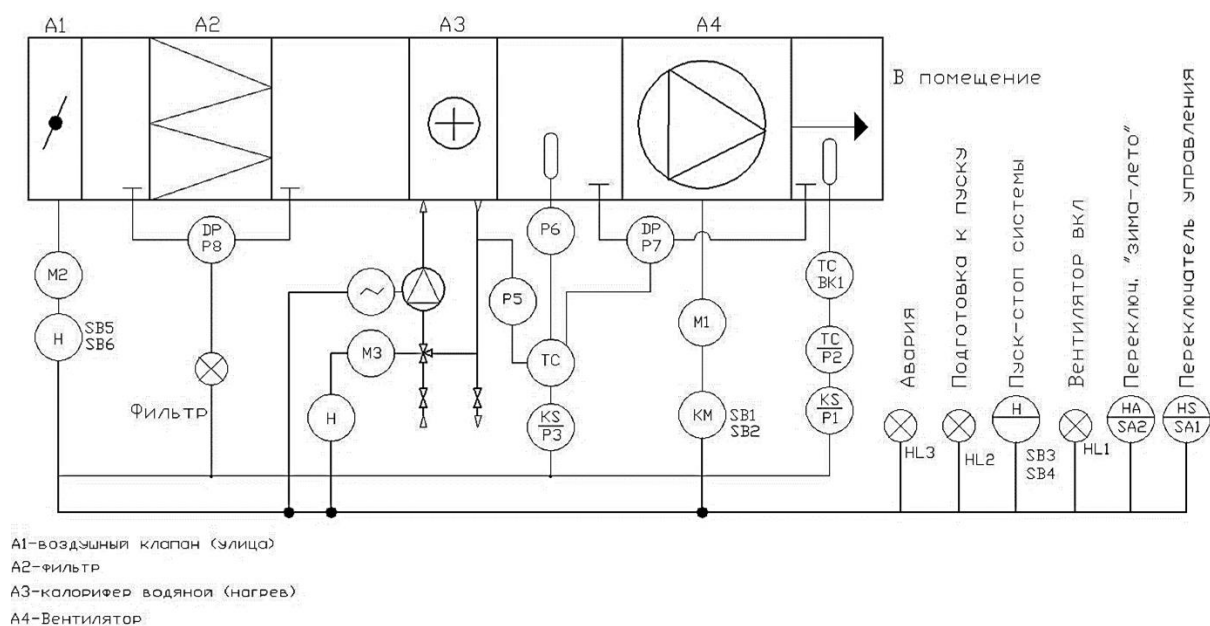


Рис. 9.1. Функциональная схема управления приточной камерой

Включение/выключение электродвигателя M1 вентилятора сигнализируется лампой HL1 «Вентилятор включен», установленной на щите автоматизации. Включение/выключение приточной камеры в

автоматическом режиме работы выполняется кнопками SB3 «Стоп» и SB4 «Пуск», расположенными на щите. При этом перед включением вентилятора обеспечивается принудительное открытие клапана на теплоносителе, а после включения вентилятора подключаются контур регулирования температуры приточного воздуха и защита от замерзания, а также открывается приемный клапан наружного воздуха.

Температура приточного воздуха поддерживается регулятором температуры P2 с датчиком (термостат) ВК1, установленным в приточном воздуховоде; управляющий сигнал через релейно-импульсный прерыватель Р1 подается на исполнительный механизм М3 клапана на теплоносителе.

Защита воздухоподогревательной установки от замерзания обеспечивается датчиком – реле температуры теплоносителя Р5, чувствительный элемент которого установлен в трубопроводе теплоносителя сразу за первой по ходу воздуха секцией подогрева, и датчиком – реле температуры воздуха Р6, чувствительный элемент которого установлен в воздуховоде между вентилятором и воздухоподогревательной установкой. В случае опасности замерзания отключается электродвигатель М1 приточного вентилятора, открывается клапан на теплоносителе и включается сигнализация, а также закрывается приемный клапан наружного воздуха. Возникновение опасности замерзания сигнализируется лампой HL3 «Опасность замерзания».

От разрыва ремень вентилятора защищается датчиком перепада давления Р7. В случае разрыва отключается приточный вентилятор М1, открывается клапан на теплоносителе, закрывается приемный клапан наружного воздуха и включается сигнализация.

Также установлен датчик перепада давления Р6 для отслеживания загрязнения фильтра. При засоре фильтра более чем на 50 % срабатывает защита и отключается приточный вентилятор М1, открывается клапан на теплоносителе, закрывается приемный клапан наружного воздуха и включается аварийная лампочка «Фильтр».

Подготовка к пуску вентилятора после нажатия кнопки SB4 сигнализируется лампой HL2 (только для зимнего режима).

В системах промышленной вентиляции широко распространено использование группы приточных камер (ПК), работающих в режиме поддержания одинаковой температуры приточного воздуха. Известны два способа регулирования теплопроизводительности приточных камер: изменением расхода теплоносителя; изменением температуры теплоносителя при неизменных расходах теплообмениваемых сред.

Первый способ регулирования позволяет простыми средствами поддерживать заданную теплопроизводительность приточных камер минимальным количеством теплоносителя, обеспечивать гидродинамическую стабилизацию системы. Однако при его использовании необходимо принимать особые меры по защите теплообменников от замерзания, что особенно важно при наличии определенного запаса по площади поверхности нагрева.

В практике широко применяется второй способ регулирования теплопроизводительности, который завоевывает все бóльшую популярность, так как позволяет минимальными средствами автоматически решать проблему защиты от замерзания. Кроме того, при его использовании исключаются перерасходы теплоты на воздушное отопление и вентиляцию помещений, т. е. уменьшаются суммарные за отопительный период расходы поступающего от ТЭЦ теплоносителя.

9.2. Управление группой приточных камер

Системой автоматического управления группой приточных камер предусматривается регулирование теплопроизводительности воздухоподогревательных установок изменением температуры подаваемого теплоносителя при постоянном расходе воздуха и теплоносителя через них путем подмешивания части теплоносителя из обратной линии в подающую.

На рис. 9.2 представлена упрощенная функциональная схема системы. Группа воздухоподогревательных установок приточных камер ПК₁ – ПК_n, соединенных по теплоносителю параллельно, связана трубопроводами с узлом подготовки теплоносителя, состоящим из

насосов Н1 и Н2 (один резервный), обратного клапана К1, регулирующего клапана К2 и регулятора давления РД. На обратном трубопроводе перед узлом подготовки установлено реле протока теплоносителя РПТ.

Исполнительный механизм клапана К2 электрически связан с регулятором РТ1, на входы которого подсоединены датчики ДТ температуры теплоносителя в подающей линии на выходе из узла подготовки и датчик температуры наружного воздуха Днв. На схеме представлены элементы сигнальной аппаратуры, установленные в каждой приточной камере, и сигнализатор температуры приточного воздуха РТ2 с датчиками Д1 – Дп. Сигнализатор РТ2 конструктивно выполнен в виде регулирующего многоточечного моста, выходные контакты которого, так же как и контакты РПВ, замыкают цепи световой и звуковой сигнализации.

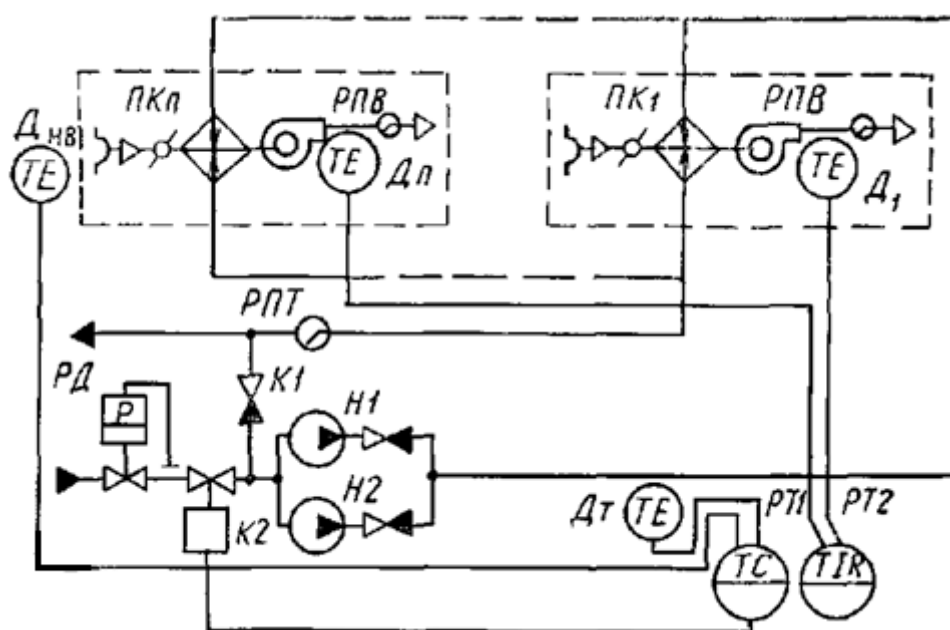


Рис. 9.2. Функциональная схема управления группой приточных камер

Разработанная система управляет группой приточных камер в ручном и автоматическом режимах. В ручном режиме управления система позволяет запустить и остановить двигатель вентилятора любой приточной камеры ПК₁ – ПК_п, запустить в соответствующем направлении и остановить исполнительный механизм регулирующего клапана К2 и исполнительные механизмы любого воздушного клапана.

В режиме автоматического управления система позволяет осуществить программный запуск и выключение приточных камер ПК₁ – ПК_л; автоматическое поддержание заданной температуры воздуха на выходе из приточных камер, контроль температуры теплоносителя на выходе из калорифера, температуры и скорости воздуха на выходе из приточных камер с сигнализацией аварийного режима. Включение системы и выбор режима «Ручной – автоматический» производятся с дистанционного щита. В режиме ручного управления при переводе переключателя выбора насоса в положение «Останов» двигатели насосов управляются кнопками «Пуск» и «Останов». Там же установлены кнопки ручного управления электродвигателями вентиляторов, исполнительных механизмов клапана К2 и воздушных приемных клапанов.

В режиме автоматического управления при переводе переключателей режима работы в автоматическое положение и выбора насоса с помощью кнопок, расположенных на дистанционном щите, производится программный запуск группы приточных камер. Одновременно загорается сигнальная лампа, свидетельствующая о включении автоматического управления. Вначале включается выбранный циркуляционный насос и открывается регулирующий клапан К2. После пятиминутного прогрева калориферов автоматически включаются электродвигатели вентиляторов и открываются воздушные приемные клапаны. После полного открытия воздушных клапанов срабатывают концевые микропереключатели, подключая к работе цепи сигнализации и контроля приточных камер. При отсутствии или понижении расхода теплоносителя срабатывает реле РПТ и обесточивает промежуточное реле, которое, в свою очередь, размыкает контакты для питания магнитных пускателей электродвигателей вентиляторов. Система автоматического управления выключается также с дистанционного щита. При этом обесточиваются магнитные пускатели насоса и электродвигателей вентиляторов, закрываются воздушные приемные клапаны и клапан К2 на теплоносителе.

9.3. Основные элементы автоматики систем вентиляции и кондиционирования

Приведем примеры некоторых основных элементов автоматики систем вентиляции и кондиционирования.

Пластинчатый рекуператор (рис. 9.3) представляет собой теплообменник, в котором приточный и вытяжной потоки, не смешиваясь, движутся по каналам, разделенным пластинами, через которые происходит теплообмен. В холодное время года на пластинах рекуператора возможно образование конденсата, а при температуре $-10 - 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ существует опасность замерзания льда и необходимо срабатывание прогрева. Эффективность или КПД таких рекуператоров в обычном режиме составляет 70 %.

Смесительный узел СУЗ-1-40-2,5/24 (рис. 9.4) предназначен для регулирования мощности водяных воздухонагревателей и их защиты от замерзания за счёт изменения температуры воды, проходящей через воздухонагреватель при постоянном расходе воды. Узлы могут быть использованы для двухрядных водяных воздухонагревателей. Циркуляционный насос служит для компенсации потерь давления в воздухонагревателе и компонентах смесительного узла.



Рис. 9.3. Пластинчатый рекуператор



Рис. 9.4. Смесительный узел
СУЗ-1-40-2,5/24

Вода, протекающая через узел, не должна содержать твердых примесей и агрессивных химических веществ, способствующих коррозии или химическому разложению меди, латуни, нержавеющей стали, цинка, пластмасс, резины, чугуна. Максимально допустимые эксплуатационные параметры отопительной воды:

- максимально допустимая температура воды на входе +95 – 130 °С;
- максимально допустимое давление 1 МПа;
- минимальное рабочее давление 20 кПа.

Установка смесительных узлов допускается в отапливаемых помещениях с температурой не менее 5 °С. Также возможно устанавливать очистные фильтры для холодной воды, предотвращения образования накипи в электронагревателе.

Щит управления вентиляционный с водяным воздухонагревателем типа ЩУВБК–1,5кВт–14А–220В применяется для комплексного автоматического управления системами вентиляции и кондиционирования воздуха в комплектации с водяным воздухонагревателем, рекуператором и охладителем для поддержания заданных параметров работы системы вентиляции посредством стандартных и дополнительных функций (рис. 9.5).



Рис. 9.5. Щит управления системами вентиляции и кондиционирования воздуха типа ЩУВБК

Щит управления обладает следующими стандартными функциями:

- защитой цепей питания включаемых устройств от короткого замыкания;
- отключением питания щита управления по сигналу пожарной сигнализации;
- полным включением/отключением приточных и вытяжных вентиляторов (VCP-SH 60-35-6E, 0,33 кВт, 3,6 А) и нагревателей кнопкой «ПУСК»/«СТОП» или по управляющим сигналам контроллера;
- защитой воздушнонагревателей от перегрева.



*Рис. 9.6. Регулятор скорости
СРМ 800 W*

В данном щите управления предусмотрены регуляторы скорости СРМ 800 W для однофазных вентиляторов (рис. 9.6). Принцип их действия основан на изменении величины подаваемого напряжения на двигатель вентилятора.

Регулирование ведется от минимально возможного значения, при котором вентилятор начинает стабильно вращаться до напряжения сети 220 В, мощностью 0,8 кВт при максимальном токе в 4 А.

Датчики выполняют функцию измерителей в схеме автоматики вентиляции, а также контроль параметров обрабатываемого воздуха, работы и состояния сетевого оборудования и выдают информацию на щиты автоматики и контроллер. К параметрам воздуха относят температуру, скорость, давление, влажность. Последний параметр не учитывается, если в автоматизированную систему вентиляции дополнительно подключается модуль системы кондиционирования воздуха.

Датчики температуры делятся на два типа по методу измерения:

- термоэлектрические преобразователи, или термопары (действие основано на измерении термоэлектродвижущей силы, развиваемой термопарой);
- термосопротивления, или термисторы (действие основано на зависимости электрического сопротивления материала от температуры окружающей его среды).

Регулятор температуры TPM-1 (измеритель) служит для поддержания заданной температуры в каналах приточных систем вентиляции с помощью изменения мощности канальных электронагревателей (рис. 9.7).

Поддержание температуры происходит за счет периодического включения/выключения нагревателей при непрерывном контроле заданной температуры и показаний канального датчика температуры. Нагрузка переключается при помощи твердотельного реле.



Рис. 9.7. Регулятор температуры TPM-1

Канальные датчики температуры могут быть использованы для измерения температуры как приточного, так и вытяжного воздуха. В системе вентиляции *канальный датчик температуры dTC3015-Pt1000.B2.200* (он же Pt1000) используется совместно с измерителем-регулятором температуры TPM-1 и контроллером RegVent PRO (рис. 9.8).

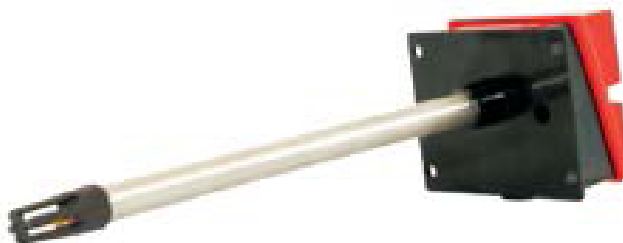


Рис. 9.8. Канальный датчик температуры воздуха dTC3015-Pt1000.B2.200

Термостат TF30/HY предназначен для управления температурой водяных теплообменников в системах отопления и кондиционирования, в каналах систем вентиляции. Чувствительный элемент термостата – газонаполненный медный капилляр (рис. 9.9).

Датчики давления. Различают два типа датчиков давления – *аналоговые датчики давления* и *реле давления*. Оба типа датчиков могут измерять давление как в одной точке, так и разность давлений в двух точках и служат в качестве дифференциальных манометров для определения степени засора в фильтрах систем вентиляции. При помощи аналоговых датчиков находится давление в точке измерения. Измеренное давление конвертируется в электрический сигнал вторичным преобразователем датчика.

Электроконтактный датчик-реле дифференциального давления DPD-10 для воздуха и неагрессивных газов предназначен для контроля давления в системах вентиляции и кондиционирования (рис. 9.10).



Рис. 9.9. Термостат TF30/HY



Рис. 9.10. Электроконтактный датчик-реле дифференциального давления DPD-10

Основными функциями датчиков являются индикация загрязнения воздушного фильтра, подтверждение работы вентилятора.

Принцип работы датчиков давления основан на измерении давления «до» и «после» элементов вентиляционной системы: вентилятора, фильтра или рекуператора. Если перепад давления превысил установленное значение, то контакт датчика переключается и может быть выдан сигнал на управляющий модуль системы вентиляции. Выбранный датчик дифференциального давления – наиболее оптимальный вариант в системах вентиляции и кондиционирования для измерения и установления показаний давления в вентилируемых помещениях.

Датчики потока. Принцип работы датчика потока состоит в следующем: в первую очередь измеряется скорость движения газа или жидкости в воздуховоде или трубопроводе, после чего измеренный сигнал преобразуется во вторичном преобразователе в электрический, затем рассчитывается расход газа или жидкости в вычислительном блоке. По принципу действия первичных преобразователей датчики потока делятся на лопастные устройства, сужающие, турбинные, вихревые, роторные, ультразвуковые и электромагнитные. В системах вентиляции и кондиционирования наиболее распространены датчики-реле потока. Они реагируют на скорость газа, создающего напор на лопасть датчика, которая приводит в действие микропереключатель с сухим контактом. В тот момент, когда скорость потока достигает заданного порога переключения, происходит замыкание контактов. Когда же скорость потока падает ниже этого порога, контакты размыкаются. Порог переключения можно регулировать.

Датчики концентрации углекислого газа. По содержанию углекислого газа в воздухе принято оценивать газовый состав воздуха в помещении. В системе вентиляции и кондиционирования концентрация углекислого газа может быть объектом регулирования. Нормой содержания углекислого газа в воздухе считается значение от 600 до 800 ‰.

К исполнительным механизмам относятся электроприводы воздушных клапанов и заслонок, вентиляторов, насосов, компрессорных установок, а также калориферы (воздухонагреватели), охладители, задвижки, заслонки, электроприводы и прочее оборудование. Исполнительным механизмом называют приводную часть исполнительного устройства.

Электроприводы воздушных заслонок. Для управления воздушными заслонками часто недостаточно вручную переключать положения клапанов, поэтому используются электроприводы, управляемые дистанционно или автоматически. Электроприводы классифицируются по величине питающего напряжения (24 В DC или 230 В 50 Гц AC); величине крутящего момента (необходимое значение определяется площадью воздушного клапана, на который устанавливается привод); способу управления (плавное, двухпозиционное или трехпозиционное); способу возврата в исходное положение (при помощи пружины или реверсивного электродвигателя); наличию дополнительных переключающих контактов.

Электроприводы для воздушных заслонок (рис. 9.11). Приводы предназначены для управления воздушными клапанами и заслонками в системах вентиляции и кондиционирования. Различают электроприводы без возвратной и с возвратной пружиной.



Рис. 9.11. Электроприводы: а – без возвратной пружины; б – с возвратной пружиной

Электропривод LF230S с возвратной пружиной предназначен для управления воздушными заслонками и клапанами, выполняющими охранные функции (например, защита от замораживания). Электропривод перемещает заслонку в нормальное рабочее положение, одновременно растягивая пружину, и держит ее в этом положении, используя минимум тока до момента предусмотренного или аварийного отключения питания. При отключении питания энергия, запасенная в пружине, автоматически возвращает заслонку в охранный положение.

Приводы устанавливаются непосредственно на вал заслонки с помощью крепежного хомута, снабжены фиксатором, предотвращающим его вращение, защищены от перегрузок, не требуют концевых выключателей, остановка происходит автоматически при достижении конечных положений.

Водяные воздухонагреватели (рис. 9.12). В водяных воздухонагревателях TFT 800.500.2 воздух нагревается за счет прохождения через нагретый контур пластин или трубок, в которых протекает нагретая до определенной температуры вода. Наиболее эффективен медно-алюминиевый пластинчатый теплообменник в двухрядном или трехрядном исполнении.



Рис. 9.12. Водяной воздухонагреватель TFT 800.500.2

Выбор контроллера для автоматизированной системы

Управление системой приточно-вытяжной вентиляции и системой кондиционирования воздуха происходит при помощи щитовой установки ЩУВБК готовой комплектации на базе RegVent PRO (рис. 9.13).



Рис. 9.13. Щит управления автоматизацией систем вентиляции и кондиционирования

Щит управления ЩУВБК применяется для комплексного автоматического управления системами вентиляции с водяным воздухонагревателем (привод крана регулировки смесительного узла на 24 В), рекуператором и охладителем для поддержания заданных параметров работы системы вентиляции посредством стандартных и дополнительных функций:

- исключена возможность запуска нагревателя без работы приточного вентилятора;
- работу вентиляторов контролируют реле дифференциального давления;
- помимо контакторов в цепь питания нагревателя включены твердотельные реле;
- регулировка нагревателей происходит посредством твердотельных реле (а не контакторов), что позволяет полностью исключить

опасность пожара по причине неконтролируемой работы нагревателей из-за возможного так называемого «залипания» контактора (неконтролируемая работа контактора по причине «сваривания» контактов). Контактторы используются для полного снятия напряжения с электронагревателя.

Контроллер RegVent PRO – свободно конфигурируемый контроллер, предназначенный для системы управления вентиляцией и кондиционирования воздуха (рис. 9.14). Он включает в себя программу-таймер, обеспечивающую необходимый алгоритм работы системы в заданные интервалы времени.



Рис. 9.14. Контроллер управления системами вентиляции и кондиционирования воздуха

Контроллер удобен для подбора необходимого алгоритма работы, обеспечивающего наиболее эффективное управление вентиляционной системой для достижения наибольшего энергосберегающего эффекта. Ввод в эксплуатацию выполняется непосредственно с панели управления с помощью встроенного интерфейса пользователя.

Основными функциональными возможностями контроллера RegVent PRO следует назвать:

- одновременное управление рециркуляцией воздуха, секцией рекуперации, секциями отопления и охлаждения;
- управление двумя вентиляторами (приточным и вытяжным);

- благодаря пяти аналоговым выходам осуществляются регулировка скорости воздушного потока, контроль концентрации CO₂, влажности помещения, контроль давления в приточных и вытяжных каналах;

- возможность выбора типа датчиков: NTC10, Ni1000, Ni1000LG, KTY, Pt1000;

- сообщение об авариях;

- интерфейс RS232 – подключение к ПК для конфигурирования на месте эксплуатации и обновления программного обеспечения;

- интерфейс RS485 Modbus – обмен данными, создание общей сети с управлением при помощи GSM-модема;

- GSM модем (опция) – дистанционное управление, контроль, отображение активных сигнализаций (SMS);

- выходной сигнал: 5 В/24 В макс. 100 мА;

- LCD – дисплей с подсветкой;

- управление устройствами на входе и выходе с контролем показаний датчиков непосредственно в контроллере RegVent PRO и с последующим поддержанием отказоустойчивости.

9.4. Системы кондиционирования воздуха

Системы кондиционирования воздуха предназначены для круглосуточного и круглогодичного обеспечения требуемых параметров воздуха в производственных помещениях, чистой воздушной среды с заданными температурными и влажностными условиями.

Автоматизированная система кондиционирования поддерживает заданное состояние воздуха в рабочих помещениях независимо от колебаний параметров окружающей среды (атмосферных условий) и внутренних условий микроклимата.

Центральные СВК (рис. 9.15) расположены вне обслуживаемых помещений и кондиционируют одно большое помещение, несколько зон такого помещения или много отдельных помещений. Центральные СВК обладают следующими преимуществами:

- возможностью эффективного поддержания заданной температуры и относительной влажности воздуха в помещениях;
- сосредоточением оборудования, требующего систематического обслуживания и ремонта, как правило, в одном месте (подсобном помещении, техническом этаже и т. п.);
- обеспечением эффективного шумо- и виброгашения, т. е. устройств глушителей шума и гасителей вибрации.

Несмотря на ряд достоинств центральных СВК, крупные габариты приводят к усложнению монтажно-строительных работ по установке кондиционеров, прокладке воздухопроводов и трубопроводов. В связи с этим системы вентиляции и кондиционирования воздуха устанавливают отдельно друг от друга в рабочих помещениях.



Рис. 9.15. Фрагмент центрального кондиционера

Мультизональные системы. Их применяют для объектов с большим количеством помещений, где есть необходимость в индивидуальном регулировании температуры воздуха и особые требования по комфортности помещений, например, помещения серверного или технологического оборудования, требующие большого теплоотвода. Конструктивно мультизональная система состоит из одного или нескольких наружных блоков, соединенных хладоновыми трубопроводами, электрическими кабелями питания и управления с необходимым числом внутренних блоков настенного, напольно-

потолочного, кассетного и канального исполнения. В мультizonальные системы входят доводчики (чиллеры, фанкойлы), связанные с центральными кондиционерами. Система автоматизации позволяет системе кондиционирования обеспечить необходимые, порой существенно различающиеся параметры в помещениях, при этом не допуская перерасхода электроэнергии (VRV и VRF системы). Возможная ошибка при проектировании – неразделение северного и южного контуров отопления и кондиционирования в больших зданиях. В результате одна половина работников находится в комфортных условиях, а вторая либо замерзает, либо перегревается.

Управление системой центрального кондиционирования, совмещенной с системой вентиляции, подразделяется на управление следующими блоками:

- блоком охлаждения входящего потока, который контактирует с теплообменником (испарителем) на воде или фреоне. Предполагается управление агрегатами чиллера и компрессорно-конденсатным узлом;
- блоком нагрева входящего потока. Система кондиционирования обратима: в зимний период процесс «разворачивается» и холод начинает перекачиваться из помещения на улицу;
- вентиляторным блоком притока (вытяжки) наружного воздуха. Возможно управление вентиляторами с помощью преобразователей частоты (экономично) либо управление геометрией сечения воздухопроводов;
- блоком осушения или увлажнения потока, который насыщает воздух водяными парами или удаляет избыток влаги из вентиляции. С помощью этого блока можно контролировать уровень влажности воздуха как в отдельно взятом помещении, так и во всем строении в целом;
- блоком осушения с датчиками;
- фильтрующим блоком, который очищает приточный поток от пыли, насекомых и прочих загрязнителей. При этом помимо фильтров и абсорбирующих кассет в состав этого блока входят и поглотители шума, обеспечивающие практически беззвучную эксплуатацию си-

стемы. Сам блок не требует управления, но уровень загрязнения фильтров существенно влияет на производительность и КПД системы, поэтому состояние фильтров постоянно контролируется;

- блоком рекуперации потоков, который отвечает за подогрев приточного воздуха энергией вытяжного потока, т. е. управление соотношением расходов входящего и исходящего потока в рекуператоре;

- сетью приточных и вытяжных воздуховодов, доставляющих подготовленные потоки в помещения. Производятся автоматическое управление геометрией сечения трубопроводов и балансировка распределения мощности в зависимости от параметров среды в помещениях.

В мультizonальных системах кондиционирования управляют режимами работы наружного (центрального) блока, режимами работы каждого из внутренних блоков, распределением холодильной мощности по контурам. В этих системах каждый внутренний блок оснащается электронным терморегулирующим вентилем, который регулирует объем поступающего хладагента из общего контура в зависимости от тепловой нагрузки на этот блок. В результате система лучше, чем обычные бытовые сплит-системы, поддерживает заданную температуру. Какими параметрами можно управлять? Автоматизация мультizonальных систем вентиляции и кондиционирования воздуха позволяет выполнять следующие функции:

- регулировать температуру и влажность воздуха, поступающего в систему подающих каналов;

- поддерживать параметры воздуха в пределах санитарных норм с помощью нескольких инструментов управления;

- переключать системы кондиционирования и вентиляции на энергосберегающие режимы работы в часы пониженных нагрузок;

- при необходимости переводить системы в нестандартные и аварийные режимы функционирования;

- обеспечивать отображение технологических параметров отдельных узлов системы вентиляции на локальных пультах управления;

- извещать оператора при отказе или выходе параметров отдельных устройств и агрегатов за уставки, а также в случае, если какие-либо узлы системы вентиляции находятся в рабочем состоянии, хотя по регламенту они должны быть выключенными.

Установки кондиционирования воздуха дополнительно оснащают приборами для измерения давления и температуры холодной воды или рассола от холодильной станции, а также приборами температуры и влажности по ходу обработки воздуха. В системе центрального кондиционирования управление температурой в помещении осуществляется с помощью изменения кратности воздухообмена (температура приточного воздуха устанавливается для системы в целом). В мультizonальных системах можно более точно устанавливать температуру для каждого из помещений за счет изменения режима внутренних блоков с хладагентом или теплоносителем (доводчиками).

К исполнительным устройствам системы кондиционирования – воздушным клапанам и заслонкам, вентиляторам, насосам, компрессорам, а также калориферам, охладителям и т. д. – подключаются электро- или пневмоприводы, через которые и обеспечивается управление системой. Они позволяют регулировать:

- ступенчато или плавно (при применении преобразователей частоты) скорость вращения вентиляторов;
- производительность канальных нагревателей и охладителей;
- производительность циркуляционных насосов;
- управлять состоянием воздушных клапанов и заслонок.

Управление электродвигателями компрессоров, насосов и вентиляторов, в особенности мощностью более 1 кВт, экономичнее выполнять с помощью преобразователей частоты.

Основным элементом щита управления служит микропроцессорный контроллер. Контроллеры систем автоматики выпускаются свободно программируемыми, что позволяет использовать их в системах разного масштаба и назначения. При подключении датчиков к щиту автоматизации системы кондиционирования учитывают тип

сигнала, передаваемого преобразователем, – аналоговый, дискретный или пороговый. Модули расширения, управляющие приводами устройств, выбирают с учетом вида управляющего сигнала и протокола управления. После программирования контроллер выводит систему на заданные параметры и временной цикл работы. Далее система может функционировать в автоматическом режиме, осуществляя:

- анализ полученных от датчиков показаний, обработку данных и внесение в работу оборудования корректировок для поддержания заданных параметров среды внутри помещений;
- вывод информации о системе оператору;
- слежение за работой и состоянием оборудования кондиционирования с выводом информации на индикационные табло;
- защиту оборудования от короткого замыкания, перегрева, неправильных режимов работы и т. п.;
- контроль за своевременной заменой фильтров и прохождением техобслуживания.

Автоматизация систем кондиционирования с рекуперацией тепла из уходящего воздуха. Системы кондиционирования с рециркуляцией тепла, безусловно, более экономичны по сравнению с прямоточными, но несмотря на энергосбережение, они имеют ряд ограничений, которые связаны с санитарно-гигиеническими требованиями. Например, рециркуляция недопустима в случаях ассимилирования в воздухе вредных паров, табачного дыма и других испарений. В таких случаях целесообразно применять в составе систем кондиционирования рекуперативные или регенеративные теплообменники. Стоит отметить, что абсолютное разделение встречных воздушных потоков возможно только при использовании рекуперативных теплообменников. В регенеративных теплообменниках присутствует незначительная степень рециркуляции.

Автоматизация однозональных сплит-систем. Для кондиционирования относительно небольших по объему жилых и офисных

помещений широкое распространение получили локальные однозональные установки, или сплит-системы. Сплит-системы от других систем кондиционирования воздуха отличаются следующими особенностями:

- работа установки возможна при температуре наружного воздуха не ниже $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, что ограничивает использование сплит-системы в зимний период;
- отсутствие в сплит-системе блоков увлажнения;
- наличие единого теплообменника внутреннего блока для охлаждения и подогрева воздуха;
- двухпозиционное регулирование производительности сплит-системы за счет запуска и останова компрессора или путем изменения количества хладагента, который подается в теплообменник;
- отсутствие обводных каналов для байпасирования воздуха;
- установка температуры, по которой осуществляется регулирование, изменяется пользователем непосредственно из обслуживаемого помещения;
- температура в помещении поддерживается в режиме нагрева (при температуре хладагента $40 - 45\text{ }^{\circ}\text{C}$) и режиме охлаждения (при температуре хладагента $5 - 7\text{ }^{\circ}\text{C}$).

9.5. Вопросы и задания для самопроверки

1. Назовите особенности разработки систем автоматизации и управления процессами (системами) вентиляции и кондиционирования.
2. Какие возможности дает система управления группой приточных камер?
3. Какие функциональные возможности предоставляют контроллеры в управлении системами вентиляции и кондиционирования?
4. Как производится стыковка центральных и мультizonальных систем вентиляции и кондиционирования?

5. Перечислите функции, которые выполняют системы управления в мультизональных системах вентиляции и кондиционирования.
6. Какие дополнительные элементы относятся к исполнительным устройствам систем управления СВК?
7. В чем особенность проектирования систем управления при автоматизации однозональных сплит-систем СВК?

ГЛАВА 10

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ПРИ УПРАВЛЕНИИ В СИСТЕМАХ ТГВ

10.1. Нечеткое цифровое управление компрессорной станцией газотранспортной системы

В [42] рассматривается подход к управлению газоперекачивающими агрегатами компрессорных станций газотранспортной системы с помощью нечетких регуляторов. Предлагается структура системы цифрового управления, основанная на применении внутренних нечетких моделей. В качестве компенсационного регулятора используется инверсная нечеткая модель объекта управления. Приводятся результаты моделирования системы нечеткого управления компрессорной станцией, подтверждающие эффективность применения инверсных нечетких моделей для поддержания максимального или заданного давления газа на выходе компрессорной станции.

Научная новизна полученных результатов заключается в системном подходе к синтезу системы управления ГПА КС с учетом действующих возмущений и существующих ограничений. Предложенный подход к управлению ГПА КС, основанный на применении инверсной внутренней нечеткой модели, состоящей из набора элементарных нечетких ячеек, позволяет синтезировать регулятор, который сохраняет работоспособность в условиях постоянно действующих возмущений как на входе, так и на выходе объекта управления и подтверждает возможность и целесообразность применения нечетких ВМ-структур для создания систем цифрового управления технологическими процессами компрессорных станций газотранспортной системы. Перспективным представляется развитие теоретического обоснования предложенного подхода и тестирование полученных результатов для различных типов возмущений, действующих на газоперекачивающие агрегаты.

10.2. Автоматическое регулирование микроклимата в зданиях и сооружениях на базе нечеткой логики

В странах Европейского сообщества потребление энергии в зданиях составляет приблизительно 40 % от общих энергозатрат, и в зависимости от региона более половины этой энергии используется для создания микроклимата в помещениях. Подсчитано, что, принимая во внимание технологические особенности систем, подобных системам управления энергоснабжением зданий (BEMSs), можно экономить до 20 % потребляемой энергии в секторе коммунальных услуг, т. е. 8 % от общего потребления энергии в населенных пунктах. BEMSs применяется главным образом для управления системами отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (HVAC).

HVAC – это оборудование, обычно применяемое для создания благоприятных и комфортных условий в зданиях. Потребление энергии, так же как и параметры микроклимата помещений в зданиях с системами вентиляции и кондиционирования, в большой степени зависит от способа проектирования, режимов работы и регулирования систем и оборудования HVAC.

В статье [43] описывается алгоритм управления системой регулирования воздуха в помещениях зданий и сооружений, построенной на базе контроллера с нечёткой логикой. Система позволяет управлять температурой и влажностью воздуха за счет изменения режимов работы сервоприводов исполнительных устройств.

Использование обширных банков данных для различных зданий может способствовать более эффективному проектированию HVAC для конкретного объекта. При этом система управления энергоснабжением здания приобретает признаки искусственного интеллекта, с помощью которого система способна оценивать, диагностировать и предлагать оптимальный режим работы оборудования. Некоторые технические приемы искусственного интеллекта могли бы успешно применяться для расширения возможностей HVAC и при моделиро-

вании режимов работы оборудования. Таким образом, использование управляющих контроллеров систем HVAC, построенных на принципах нечеткой логики, могло бы привести к значительной экономии электроэнергии по сравнению с обычным управлением.

За счет увеличения числа уровней фазификации возможно получить намного лучшую аппроксимацию. По мере увеличения температуры и влажности воздуха контроллер будет реагировать на эти изменения в климате помещения и скорость вентилятора плавно увеличится.

10.3. Моделирование процессов теплообмена, протекающих в пластинчатых теплообменных аппаратах

В [44] разработана математическая модель водо-водяного пластинчатого теплообменного аппарата, которая учитывает передачу энергии от греющего к нагреваемому контуру. На основе данной модели исследованы возможности эффективной реализации нечетких методов управления, способствующих оптимизации работы систем отопления и горячего водоснабжения. Для решения задач оптимизации систем отопления зданий определены основные положения концепции внедрения современных энергосберегающих технологий:

- индивидуальное автоматическое регулирование теплоотдачи отопительных приборов посредством установки на них термостатических вентилей;
- автоматическое регулирование температуры теплоносителя на вводе в каждое здание в зависимости от температуры наружного воздуха и обеспечение насосной циркуляции теплоносителя в системе отопления; учет расхода тепловой энергии;
- автоматическое регулирование температуры теплоносителя и стабилизация параметров воды контуров горячего водоснабжения.

Использование индивидуальных тепловых пунктов (ИТП) на вводах в здания, реализованных на базе водо-водяных пластинчатых

теплообменных аппаратов (ПТА), позволяет создавать домовые автоматизированные узлы управления потреблением тепловой энергии и ее учета.

В работе [44] представлена математическая модель теплообменного аппарата, которая учитывает передачу энергии от греющего к нагреваемому контуру (в отличие от существующих моделей теплообменных аппаратов, учитывающих передачу энергии через стенку аппарата воде). Полученная модель позволяет определить возможности реализации алгоритмов эффективного управления потреблением тепловой энергии. Результаты исследований свидетельствуют о том, что процессы, протекающие в модели ПТА, носят распределенный характер, а реализованное сосредоточенное нечеткое управление способствует решению задач оптимизации работы системы управления.

Необходимо отметить, что процессы, протекающие в пластинчатом теплообменном аппарате, носят пространственно-распределенный характер, а реализованное сосредоточенное нечеткое управление дает возможность оптимизировать работу системы управления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В учебном пособии представлено перспективное развитие уровня автоматизации технологических процессов теплогазоснабжения, вентиляции и кондиционирования систем ТГВ.

Все современные строительные сооружения, промышленные, общественные, жилые здания и коттеджи оборудуются инженерными сооружениями ТГВ. Надежная и безаварийная работа этих систем не может быть обеспечена без их автоматизации, степень и уровень оптимального управления которой базируются на принципах энергоэффективности и энергосбережения работы систем ТГВ. При рациональном применении современных средств автоматики и вычислительной техники, алгоритмов управления и математических методов повышаются производительность труда и качество управления, снижаются затраты, улучшаются условия труда и культура производства.

Учебное пособие включает основную информацию по теории автоматического регулирования и управления технологическими процессами, автоматизации процессов газораспределения систем теплоснабжения, котельных установок, систем горячего водоснабжения, водяного и воздушного отопления, а также систем вентиляции и кондиционирования.

Учебный материал книги поможет студентам освоить дисциплины по отдельным направлениям технологического процесса ТГВ и овладеть принципами и технологией управления системами теплогазоснабжения и вентиляции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основной

1. Автоматизация и управление в технологических комплексах : монография / под ред. А. М. Русецкого. – Минск : Белорус. наука, 2014. – 376 с. – ISBN 978-985-08-1774-7.
2. Жила, В. А. Автоматика и телемеханика систем газоснабжения : учебник / В. А. Жила. – М. : Инфра-М, 2013. – 240 с. – ISBN 978-5-16-006864-0.
3. Крылов, Ю. А. Энергосбережение и автоматизация производства в теплоэнергетическом хозяйстве города : учебник / Ю. А. Крылов, А. С. Карандаев, В. Н. Медведев. – СПб. : Лань, 2013. – 176 с. – ISBN 978-5-8114-1469-7.
4. Зуев, К. И. Автоматизация систем водоснабжения и водоотведения : учеб. пособие / К. И. Зуев. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2015. – 216 с. – ISBN 978-5-9984-0684-3.
5. Шишмарев, В. Ю. Типовые элементы систем автоматического управления : учебник / В. Ю. Шишмарев. – М. : Академия, 2011. – 304 с. – ISBN 978-5-7695-8296-7.

Дополнительный

6. Автоматика и автоматизация систем теплогазоснабжения и вентиляции : учебник / под ред. В. Н. Богословского. – М. : Стройиздат, 1986. – 479 с.
7. Беркут, А. И. Системы автоматического контроля технологических параметров : учеб. пособие / А. И. Беркут, А. А. Рульников. – М. : АСВ, 2005. – 144 с. – ISBN 5-93093-405-3.
8. Автоматизация систем вентиляции и кондиционирования воздуха : учеб. пособие / Е. С. Бондарь [и др.]. – Киев : Аванпост-Прим, 2005. – 561 с. – ISBN 966-8571-15-0.

9. Галиев, А. Л. Элементы и устройства автоматизированных систем управления : учеб. пособие / А. Л. Галиев, Р. Г. Галиева. – Стерлитамак : СГПА, 2008. – 220 с. – ISBN 978-5-86111-314-4.

10. Гидравлические системы : метод. указания по курсам «Гидравлика» и «Механика жидкостей и газов»: в 2 ч. / сост. К. И. Зуев. – Владимир : Изд-во ВлГУ. – Ч. 1: Гидравлические машины, 2009. – 41 с. ; Ч. 2: Гидравлические приводы, гидроаппаратура, устройства гидроавтоматики, 2011. – 43 с.

11. Глебов, Н. А. Автоматизация производственных процессов в нефтегазовой отрасли : учеб. пособие / Н. А. Глебов. – Новочеркасск : ЮРГТУ, 2011. – 172 с. – ISBN 978-5-9997-0096-4.

12. Комплексная автоматизация в энергосбережении : учеб. пособие / Р. С. Голов [и др.]. – М. : Инфра-М, 2018. – 312 с. – ISBN 978-5-16-011982-3.

13. Данилов, А. А. Автоматизированные газораспределительные станции : справочник / А. А. Данилов. – СПб.: Химиздат, 2017. – 544 с. – ISBN 978-5-93808-305-9.

14. Денисенко, В. В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием / В. В. Денисенко. – М. : Горячая линия-Телеком, 2009. – 608 с. – ISBN 978-5-9912-0060-8.

15. Дьяконов, В. П. MATLAB и SIMULINK в электроэнергетике : справочник / В. П. Дьяконов, А. А. Пеньков. – М. : Горячая Линия-Телеком, 2009. – 816 с. – ISBN 978-5-9912-0114-8.

16. Емельянов, С. Г. Автоматизированные нечетко-логические системы управления : монография / С. Г. Емельянов, В. С. Титов, М. В. Бобырь. – М. : Инфра-М, 2016. – 176 с. – ISBN 978-5-16-009759-6.

17. Зеликов, В. В. Справочник инженера по отоплению, вентиляции и кондиционированию : учеб. пособие / В. В. Зеликов. – М. : Инфра-Инженерия, 2013. – 624 с. – ISBN 978-5-9729-0037-4.

18. Ившин, В. П. Современная автоматика в системах управления технологическими процессами : учеб. пособие / В. П. Ившин, М. Ю. Перухин. – М. : Инфра-М, 2016. – 400 с. – ISBN 978-5-16-005162-8.

19. Ильина, Т. Н. Кондиционирование воздуха и холодоснабжение : учеб. пособие / Т. Н. Ильина. – Белгород : БелГТУ им. В. Г. Шухова, 2012. – 200 с.

20. Кудинов, А. А. Энергосбережение в котельных установках ТЭС и системах теплоснабжения : монография / А. А. Кудинов, С. К. Зиганшина. – М. : Инфра-М, 2016. – 342 с. – ISBN 978-5-16-011155-1.

21. Малафеев, С. И. Основы автоматики и системы автоматического управления : учебник / С. И. Малафеев, А. А. Малафеева. – М. : Академия, 2010. – 384 с. – ISBN 978-5-7695-5295-3.

22. Мартыненко, Г. Н. Основы автоматизации тепловых процессов : учеб. пособие / Г. Н. Мартыненко, А. В. Исанова, В. И. Лукьяненко. – Воронеж : ВорГАСУ, 2015. – 70 с. – ISBN 978-5-89040-521-0.

23. Моделирование систем автоматического управления зданиями : метод. указания к лабораторным работам / сост. : А. А. Волков, П. Д. Челышков, А. В. Седов. – М. : МГСУ, 2014. – 24 с.

24. Надежность и качество процессов регулирования современных систем газоснабжения : монография / под ред. В. С. Седака. – Харьков : ХНАГХ, 2011. – 226 с. – ISBN 978-966-695-211-3.

25. Николайчук, О. И. Современные средства автоматизации: практические решения / О. И. Николайчук. – М. : СОЛОН-ПРЕСС, 2009. – 248 с. – ISBN 5-98003-287-8.

26. Новиков, С. И. Оптимизация систем автоматизации теплоэнергетических процессов : учеб. пособие : в 2 ч. / С. И. Новиков. – Новосибирск : НГТУ, 2011. – Ч. 1: Автоматические системы регулирования теплоэнергетических процессов с аналоговыми регуляторами. – 284 с. – ISBN 978-5-7782-1800-0.

27. Петраков, Ю. В. Теория автоматического управления технологическими системами : учеб. пособие / Ю. В. Петраков, О. И. Драчев. – М. : Машиностроение, 2008. – 336 с. – ISBN 978-5-217-03391-1.

28. Плетнев, Г. П. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике : учебник / Г. П. Плетнев. – М. : ИД МЭИ, 2009. – 352 с. – ISBN 978-5-383-00339-8.

29. Потапенко, А. Н. Автоматизация и управление процессами теплоснабжения зданий : учеб. пособие / А. Н. Потапенко, А. С. Солдатенков, А. В. Белоусов. – Белгород : БелГТУ им. В. Г. Шухова, 2016. – 262 с.

30. Протасевич, А. М. Энергосбережение в системах теплогазоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха : учеб. пособие / А. М. Протасевич. – М. : Инфра-М, 2016. – 286 с. – ISBN 978-5-16-005515-2.

31. Пырков, В. В. Современные тепловые пункты. Автоматика и регулирование / В. В. Пырков. – Киев : Такі справи, 2007. – 252 с. – ISBN 966-7208-35-4.

32. Сажин, Р. А. Элементы и структуры систем автоматизации технологических процессов нефтяной и газовой промышленности : учеб. пособие / Р. А. Сажин. – Пермь : ПГТУ, 2008. – 175 с. – ISBN 978-5-88151-972-8.

33. Старостин, А. А. Технические средства автоматизации и управления : учеб. пособие / А. А. Старостин, А. В. Лаптева. – Екатеринбург : УФУ, 2015. – 168 с. – ISBN 978-5-7996-1498-0.

34. Тарасенко, В. И. Системы телемеханики в газоснабжении РФ : учеб. пособие / В. И. Тарасенко. – М. : АСВ, 2012. – 98 с. – ISBN 978-5-93093-852-8.

35. Управляющие системы и автоматика для мехатроники / Д. Шмид [и др.]. – М. : Техносфера, 2007. – 584 с. – ISBN 978-5-94836-152-9.

36. Хубаев, С. К. Автоматизация систем теплогазоснабжения и вентиляции : учеб. пособие / С. К. Хубаев. – М. : АСВ, 2004. – 69 с. – ISBN 5-93093-330-8.

37. Шандров, Б. В. Технические средства автоматизации : учебник / Б. В. Шандров, А. Д. Чудаков. – М. : Академия, 2007. – 368 с. – ISBN 978-5-7695-3624-3.

38. Шишов, О. В. Технические средства автоматизации и управления : учеб. пособие / О. В. Шишов. – М. : Инфра-М, 2016. – 397 с. – ISBN 978-5-16-010325-9.

39. ГОСТ 21.404-85. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах. – М. : Стандартинформ, 2007. – 16 с.

40. Правила эксплуатации и безопасности обслуживания средств автоматизации, телемеханизации и вычислительной техники в газовой промышленности. – М. : ЭНАС, 2018. – 104 с.

41. СТО Газпром. Основные положения по автоматизации, телемеханизации и автоматизированным системам управления технологическими процессами транспортировки газа. – М. : РАО «Газпром», 1995. – 21 с.

42. Альхайек, Р. Модифицированный метод построения инверсной нечеткой модели объекта цифрового управления / Р. Альхайек, С. Г. Удовенко // Системи управління, нашіацд та зв'язку. – 2009. – Вип 4 (12). – С. 130 – 134.

43. A genetic rule weighting and selection process for fuzzy control of heating, ventilating and air conditioning systems / R. Alcala' [et. al.] // Engineering Applications of Artificial Intelligence. – 2005. – № 18. – P. 279 – 296.

44. Прохоренков, А. М. Моделирование процессов теплообмена, протекающих в пластинчатых теплообменных аппаратах / А. М. Прохоренков // Вестник МГТУ. – 2014. – Т. 17. – № 1. – С. 92 – 101.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
Глава 1. Основы автоматизации и управления технологическими процессами	6
1.1. Основные понятия теории управления.....	6
1.2. Иерархия управления системами ТГВ.....	8
1.3. Основные понятия регулирования	10
1.4. Виды автоматических систем регулирования	14
1.5. Вопросы и задания для самопроверки	18
Глава 2. Автоматический контроль технологических параметров.....	19
2.1. Тепловизоры в системах ТГВ	19
2.2. Газоанализаторы в системах ТГВ	20
2.3. Вопросы и задания для самопроверки	25
Глава 3. Автоматическое регулирование технологических процессов	26
3.1. Основные свойства объектов регулирования	26
3.2. Основные законы автоматического регулирования и типы регуляторов	36
3.3. Оценка качества автоматического регулирования.....	42
3.4. Классификация систем автоматического регулирования.....	45
3.5. Микропроцессорные регуляторы	47
3.6. Регулирующие органы и исполнительные механизмы.....	51
3.7. Вопросы и задания для самопроверки	53
Глава 4. Графическое обозначение схем автоматического регулирования типовых технологических параметров	54
4.1. Графическое оформление схем автоматизации.....	54
4.2. Вопросы и задания для самопроверки	59

Глава 5. Дистанционное управление и основы телемеханики	60
5.1. Назначение систем дистанционного управления и телемеханики	60
5.2. Методы и средства телеизмерения.....	62
5.3. Методы и схемы телеуправления и телесигнализации	64
5.4. Промышленные схемы телемеханики	66
5.5. Вопросы и задания для самопроверки	75
 Глава 6. Автоматизация систем газоснабжения	76
6.1. Автоматизация газораспределительных станций	76
6.2. Регуляторы давления газа: назначение, устройство, классификация	79
6.3. Автоматизированные системы газораспределения	87
6.4. Вопросы и задания для самопроверки	91
 Глава 7. Автоматизация систем теплоснабжения	92
7.1. Задачи и принципы автоматизации систем теплоснабжения	92
7.2. Автоматизация теплоподготовительных установок ТЭЦ и котельных	93
7.3. Автоматизация насосных подстанций	100
7.4. Автоматизация узлов горячего водоснабжения.....	102
7.5. Автоматизация водяных систем отопления	108
7.6. Автоматизация систем воздушного отопления и воздушных тепловых завес	117
7.7. Вопросы и задания для самопроверки	118
 Глава 8. Автоматизация котельных установок	120
8.1. Задачи и принципы автоматизации котельных установок	120
8.2. Системы автоматического регулирования процессов в котлах	124
8.3. Автоматика безопасности котлов.....	127
8.4. Регулировка соотношения «топливо – воздух»	129
8.5. Вопросы и задания для самопроверки	133

Глава 9. Автоматизация систем вентиляции	
и кондиционирования.....	134
9.1. Управление приточными камерами	134
9.2. Управление группой приточных камер	137
9.3. Основные элементы автоматики систем вентиляции и кондиционирования	140
9.4. Системы кондиционирования воздуха	150
9.5. Вопросы и задания для самопроверки	156
 Глава 10. Использование нечеткой логики при управлении	
в системах ТГВ.....	158
10.1. Нечеткое цифровое управление компрессорной станцией газотранспортной системы	158
10.2. Автоматическое регулирование микроклимата в зданиях и сооружениях на базе нечеткой логики	159
10.3. Моделирование процессов теплообмена, протекающих в пластинчатых теплообменных аппаратах	160
 Заключение	162
 Библиографический список	163

Учебное издание

ЗУЕВ Константин Иванович

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМАМИ
ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЯ И ВЕНТИЛЯЦИИ

Учебное пособие

Редактор А. П. Володина

Технический редактор С. Ш. Абдуллаева

Корректор Н. В. Пустовойтова

Компьютерная верстка Л. В. Макаровой

Выпускающий редактор Е. В. Невская

Подписано в печать 14.08.19.

Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 10,0. Тираж 50 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.
600000, Владимир, ул. Горького, 87.