ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ ТГВ

Глава 1. Автоматизация систем теплоснабжения и отопления гражданского здания.

1.1. Введение

Автоматизация является высшей ступенью механизации производства и применяется в комплексе управления теплотехническими производственными процессами. Она открывает колоссальные возможности для повышения производительности труда, быстрого рос та темпов развития производства, а также безопасности производственных процессов.

Автоматизация механизированного производства предполагает управление машинами, механизмами и установками, а также контроль за их действием и состоянием при помощи специальных устройств без участия человека или частичном его участии. Средствам автоматизации базируются на комплексе технических средств (КТС) от простейших приборов контроля и автоматов до современных управляющих вычислительных машин.

К настоящему времени автоматизация выделилась в самостоятельную отрасль науки и техники, в основе которой лежит теория автоматического управления, разработка автоматических систем регулирования и соответствующих технических средств.

В автоматизированном производстве человеку отводятся лишь задачи периодического воздействия на главные машины, механизмы и установки, определяющие нормальный ход технологического процесса, а также наблюдения за наиболее важными его параметрами по показаниям приборов.

Автоматизация тепловых процессов и установок осуществляется с помощью систем управления, выполняющих следующие основные функции:

- контроль (измерение) текущих значений параметров технологического процесса;
- технологическую сигнализацию о состоянии основного и вспомогательного оборудования;
- дистанционное управление машинами и механизмами на расстоянии;
- автоматическую защиту основного и вспомогательного оборудования от возможных повреждений в процессе эксплуатации;

- автоматическое непрерывное регулирование технологических процессов и управление основными и вспомогательными установками.

Отечественный и зарубежный опыт разработки и эксплуатации технологического оборудования систем теплогазоснабжения и вентиляции (ТГВ) показывает, что непременным условием развития автоматизации является не только совершенствование КТС автоматизации, но и комплексный совместно с ним анализ режимов работы и регулирования самого технологического оборудования.

В развитии технико-экономических предпосылок внедрения и использования технических средств автоматизации можно выделить три характерных периода: начальный этап (использование локальных приборов и регуляторов), этап комплексной автоматизации (использования систем управления отдельными установками и процессами) и этап автоматизированных систем управления.

На начальном этапе механизации и автоматизации подлежали только те отдельные процессы и операции, управление которыми человек не мог осуществлять достаточно надёжно по причине несовершенства своих психофизических данных. При этом автоматизация затрагивала только стабилизацию параметров повышенной аварийной опасности (таких, как уровень воды и давление пара в котлах, частота вращения паровых турбин и т.д.).

В целом начальный этап был этапом автоматизации отдельных параметров технологических процессов. Применение автоматизации не носило массового характера, а объём применяемых технических средств был ничтожен, и их производство не являлось самостоятельной отраслью. Тем не менее, именно на этом этапе сформировались некоторые современные принципы построения низших уровней автоматизации и, в частности, основы современного дистанционного управления с использованием электрических, пневматических и гидравлических двигателей для привода запорно-регулирующей арматуры. Переход к такому управлению вызвал переход от регуляторов прямого действия, использовавших для перемещения регулирующих органов энергию самой регулируемой среды, к более удобным в эксплуатации регуляторам косвенного действия.

Переход ко второму этапу - комплексной автоматизации производства – был обусловлен ростом производительности труда, укрупнением единичных мощностей агрегатов и установок и развитием материальной и научно-технической базы автоматизации. Теперь человек-оператор всё больше занимается умственным трудом, выполняя различные логические операции при пусках и остановках оборудования, при возникновении непредвиденных обстоятельств, предаварийных и аварийных ситуаций, а также оценивая состояние объекта, контролируя и резервируя работу автоматических систем.

На данном этапе формируются основы крупносерийного производства технических средств автоматизации, что привело к постепенному выделению

этого производства в самостоятельную отрасль. Кроме того, развитие электронной техники и широкое использование электроэнергии стимулируют развитие на данном этапе электрических и электронных средств регулирования. Третий (современный) этап развития автоматизации может быть определён как этап автоматизированных систем управления (АСУ), появление которых совпало с разработкой и распространением вычислительной техники. На данном этапе становится целесообразной автоматизация всё более сложных функций управления. Для этого понадобились автоматы высокого уровня, автоматы, способные осуществлять сложные вычислительные и логические операции, связанные с переработкой и преобразованием большого количества информации. Основой таких автоматов стали электронные вычислительные машины (ЭВМ) и микропроцессорная техника, которые на сегодняшний день, дополненные средствами связи с объектом управления, стали неотъемлемой частью современных автоматизированных систем управления.

Тема 1. «Основные принципы автоматизации систем теплоснабжения».

1.1.1. Принципы автоматизации систем теплоснабжения

Системы теплоснабжения, предназначенные для создания комфортных условий обитания человека, состоят из двух основных подсистем: системы отопления (СО) и системы горячего водоснабжения (ГВС). Кроме того, тепло получаемое в этих системах используется для подогрева воздуха в приточной вентиляции помещений.

На сегодняшний день примерно 85% теплоты, потребляемой городами и другими населенными пунктами, обеспечивается централизованным теплоснабжением, которое осуществляется от ТЭЦ, районных тепловых станций и квартальных котельных. Для централизованного теплоснабжения характерна разнотипность подключаемых потребителей - системы отопления, горячего водоснабжения, вентиляции и т. п.

Основными целями автоматизации теплоснабжающих систем является обеспечение: теплового и санитарно-гигиенического комфорта потребителя; поддержания заданных гидравлических режимов в различных звеньях системы, включая защиту от аварийных ситуаций; экономии топлива, теплоты и электрической энергии; эффективности и надежности, качества работы основного оборудования систем.

Автоматизация систем теплоснабжения существенным образом зависит от принципов теплоснабжения, диктуемых уровнем развития и потребностями общества, рассмотрение которых позволяет ввести понятие ступеней управления теплоснабжением.

Так, на раннем историческом этапе существовало только индивидуальное ручное управление тепловыми режимами помещений. С появлением центрального отопления точка приложения управляющего

воздействия переместилась в котельную, хотя при этом и оставалась возможность индивидуального управления тепловым режимом помещений.

Внедрение централизованного теплоснабжения заставило вести процесс управления в его источнике, еще дальше отнеся точку приложения управляющего воздействия. Этот первый период становления автоматизации систем теплоснабжения характеризовался небольшой площадью застройки городов, малой и средней этажностью в основном массивных зданий из кирпича, небольшой протяженностью коммуникаций, незначительной долей нагрузок горячего водоснабжения и вентиляции и т. д. Все это позволяло системам теплоснабжения и отопления функционировать при низком уровне автоматизации.

Со временем, когда строительная промышленность встала на индустриальную основу, появились новые строительные материалы, снизилась массивность зданий, увеличилась воздухопроницаемость их ограждающих конструкций, возросла протяженность коммуникаций, а теплопотери современных зданий увеличились почти вдвое, возникла необходимость иного подхода к принципам автоматизации систем теплоснабжения и теплопотребления. При этом точка приложения управляющего воздействия опять стала перемешаться к потребителю - в центральные, местные тепловые пункты и т.п.

Характерные особенности автоматизации, связанные с функционированием системы «источник – преобразователь – потребитель» определяются комплексом применяемых технологических устройств и установок, непрерывностью процессов и взаимосвязанностью режимов в отдельных звеньях указанной цепи. Характер технологических процессов в этой цепи, в особенности гидроаэродинамических и тепломассообменных, нестационарен и сложен. Режимы отпуска теплоты и потребности в ней различны по отношению к определяющим параметрам - температуре наружного воздуха и времени. Так, например, потребление теплоты системой горячего водоснабжения (СГВ) не зависит от температуры наружного воздуха и существенно меняется в течение суток, а система же отопления имеет прямо противоположные характеристики. Уровень автоматизации определяется технологической схемой системы теплоснабжения (схема подключения, вид теплоносителя и т. д.) и принятым способом ее управления, кроме того, характеристики потребителя (тип, назначение, архитектурно-строительные особенности, требования комфорта и т.п.) зачастую играют решающую роль при определении схемы автоматизации.

В настоящее время принято многоступенчатое управление тепловым режимом потребителей, причем рациональное сочетание ступеней зависит от ряда факторов, определяемое пока на основе экспертных оценок. Различают следующие основные ступени управления (см. рис. 1): централизованное (на ТЭЦ, в котельной); групповое (в ЦТП); местное (в МТП, микрокотельных); зональное (пофасадное, поэтажное, секционное в зданиях); индивидуальное (в отдельных помещениях и малых зданиях).

Сочетание ступеней управления теплоснабжением влияет на уровень комфортности при этом чем ближе к потребителю управляющее воздействие, тем выше уровень тепловой комфортности, однако в это же время увеличиваются капитальные и эксплуатационные затраты, что обусловлено увеличением числа регулирующих устройств.

По отношению к температурному режиму в помещениях количественные или качественные воздействия, вырабатываемые системами автоматизации, на разных ступенях могут расцениваться только как управляющие. В связи с этим все системы автоматизации, в соответствии с теорией автоматического управления, в зависимости от исходных сигналов и принципов управления, которые были рассмотрены выше, можно классифицировать как системы (по отклонению, по возмущению, программные, комбинированные и др.).

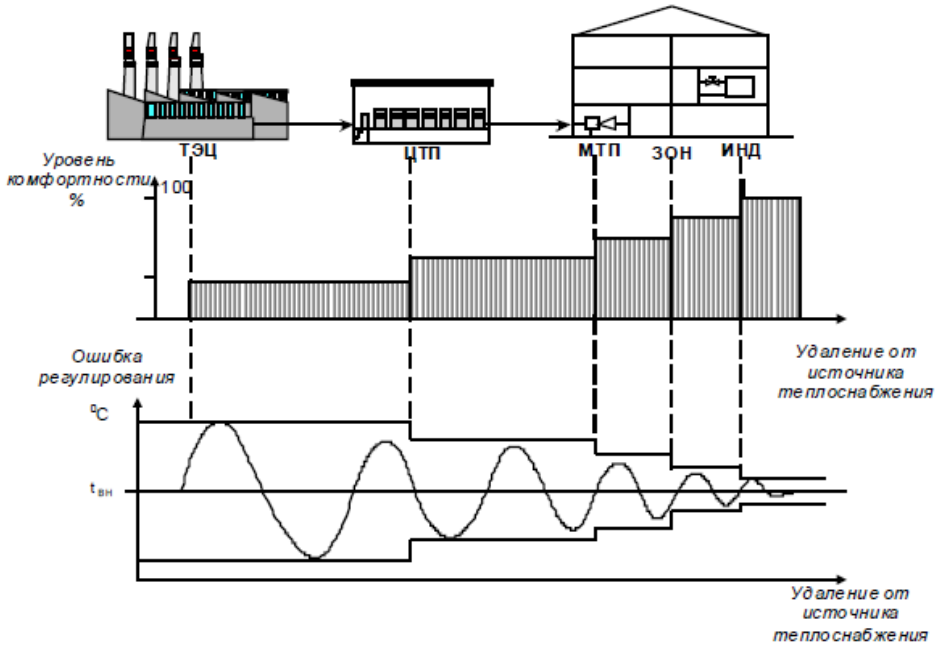


Рис. 1. - Основные ступени управления систем теплоснабжения

Среди перспективных направлений развития теплоснабжения, влияющих на принципиальные решения в области автоматизации, необходимо отметить использование теплоносителей с высокими энергетическими параметрами, тепловых насосов, геотермальной, солнечной, ядерной энергий, энергии ветра и биомассы.

Автоматизируемые параметры в системах теплоснабжения

В системах теплоснабжения зданий основными технологическими процессами являются процессы отпуска, транспортирования, распределения и потребления тепловой энергии, горячей воды и пара. Эти процессы реализуются соответствующим оборудованием и агрегатами в основных звеньях системы теплоснабжения (тепловых источниках и распределительных сетях, насосных станциях, тепловых пунктах потребителей, нагревательных приборах в отапливаемых и вентилируемых помещениях).

Основными задачами, решаемыми системами теплоснабжения зданий, являются: бесперебойная подача потребителям тепловой энергии требуемого качества и количества, обеспечение высокой надежности и экономичности теплоснабжения.

Решение этих задач обеспечивается путем автоматического изменения или поддержания постоянных параметров технологических процессов теплоснабжения.

Основными параметрами, характеризующими процессы теплоснабжения зданий, являются:

— температура (подающей и обратной воды в тепловых сетях и у потребителей, воды для горячего водоснабжения, воздуха в отапливаемых и вентилируемых помещениях);

— давление, перепад давления (в трубопроводах воды, пара, в насосных агрегатах и установках теплоснабжения);

— уровень (воды в емкостях);

— расход и количество теплоносителя (воды, пара);

— расход и количество теплоты (отпущенной, потребленной).

Изменения и стабилизация указанных параметров обеспечиваются с помощью приборов и средств автоматизации, позволяющих решать следующие задачи:

— регулирование технологических процессов;

— управление оборудованием и агрегатами;

— контроль и измерение параметров;

— защита тепловых сетей и потребителей;

— блокировка агрегатов и оборудования;

— учет тепловой энергии и теплоносителя.

Рациональное оснащение приборами и средствами автоматизации оборудования и агрегатов системы теплоснабжения обеспечивает экономию топливно-энергетических ресурсов благодаря поддержанию наиболее экономичных режимов работы и учету теплопотребления, а также снижение трудовых затрат на обслуживание и наладку оборудования и агрегатов благодаря применению средств дистанционного и телемеханического контроля и управления.

Средства защиты и блокировки обеспечивают надежную работу звеньев системы теплоснабжения, предотвращая возможность разрушения теплопотребляющих установок и сооружений тепловых сетей.

Отсутствие на отдельных участках системы теплоснабжения соответствующих средств автоматизации приводит, как правило, к существенному увеличению непроизводительных перерасходов тепловой и электрической энергии, пара, горячей воды; снижению качества отопления, вентиляции, горячего водоснабжения зданий; нарушению нормальной работы потребителей и сетей (опорожнение систем отопления, разрушение нагревательных приборов повышенным давлением, недопустимый перегрев потребителей). Отсутствие или недоукомплектованность средствами измерения и контроля приводит к увеличению затрат на обслуживание оборудования и агрегатов, а также к снижению качества наладочных работ.

Рассмотрим на примере упрощенной схемы системы теплоснабжения от ТЭЦ, приведенной на рис. 2, основные параметры управления и автоматической защиты соответствующих подсистем автоматизации.

На теплоподготовительной установке - ТЭЦ регулируется давление перед сетевыми насосами 1 и обеспечивается защита от повышения давления за подогревателями 2 и котлами 3, регулирование уровня и защита

подогревателей от переполнения и регулирование деаэраторов 4. В насосной подстанции (НП), помимо дистанционного управления насосами 5, поддерживается давление перед ними и предусматривается защита от повышения давления.

На примере двух вариантов присоединения абонентов через ЦТП и без него (только МТ П) показано управление отпуском теплоты на отопление 8, вентиляцию 9 и горячее водоснабжение 7. В системе предусмотрены насосы смешения 6, обеспечивающие регулирование перепада давления с целью предотвращения гидравлического разрегулирования тепловой сети, а также давления в обратной магистрали. В отдельных помещениях (П) могут быть установлены индивидуальные терморегуляторы.

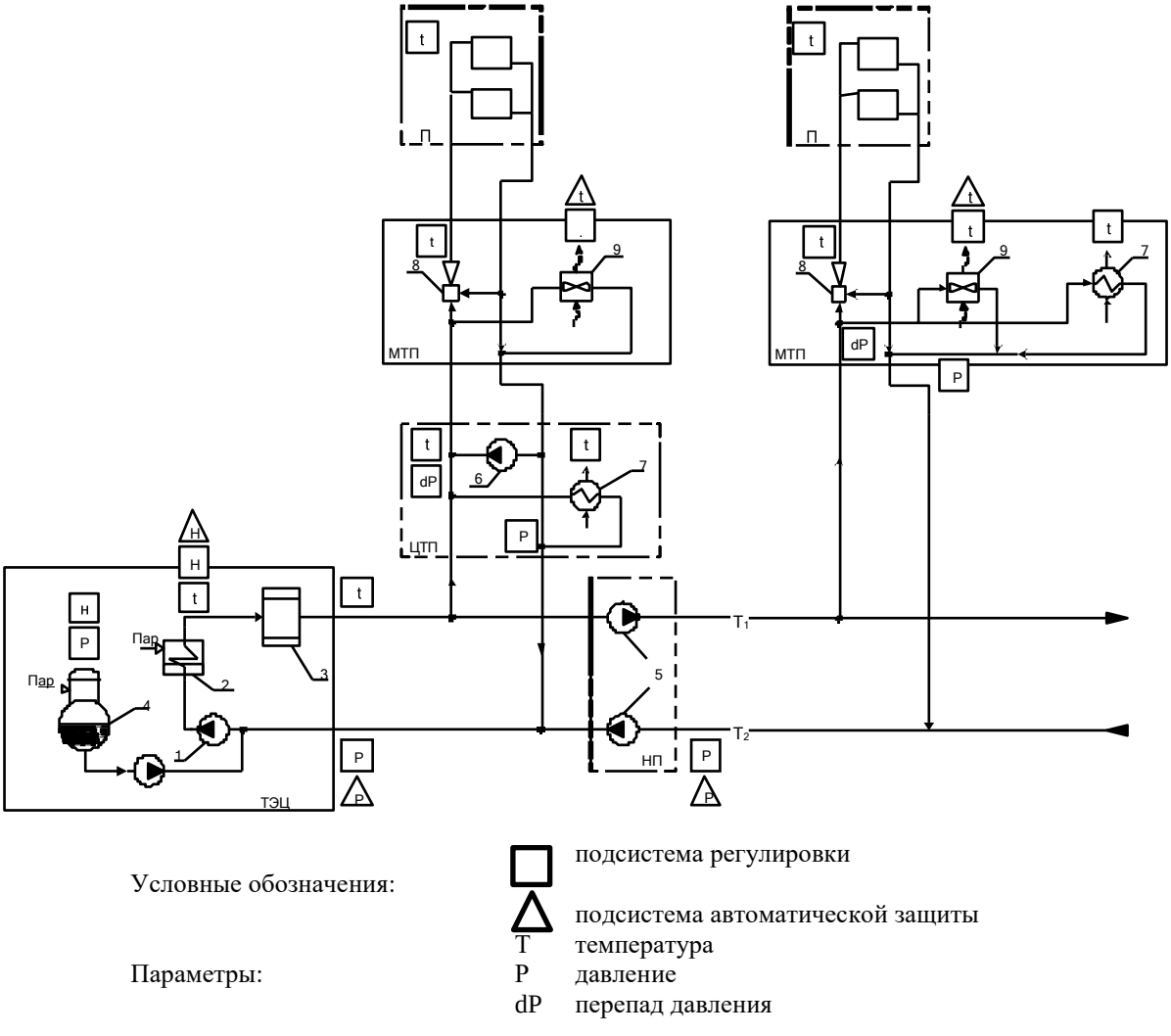


Рис. 2. Основные параметры автоматизации системы теплоснабжения

1.1.2 Построение ФСА – функциональной схемы автоматизации систем теплоснабжения.

Функциональная схема автоматизации (ФСА) является основным техническим документом, определяющим структуру и функциональные связи технологического процесса и средств контроля, и управления.

ФСА выполняется развернутым способом, при котором на схеме изображают состав и место расположения технических средств автоматизации каждого контура контроля и управления.

ФСА представляет собой чертеж, на котором схематически условными обозначениями изображены:

– технологическое оборудование;

– коммуникации;

– органы управления и средства автоматизации (приборы, регуляторы, вычислительные устройства) с указанием связей между технологическим оборудованием и элементами автоматики, а также связей между отдельными элементами автоматики.

Вспомогательные устройства, такие как редукторы, фильтры для воздуха, источники питания, соединительные коробки и другие монтажные элементы, на ФСА не показывают.

Как правило, ФСА выполняют на одном чертеже, на котором изображают аппаратуру всех систем контроля, регулирования, управления и сигнализации, относящуюся к данной технологической установке.

На основании ФСА выполняют остальные чертежи проекта и составляют ведомости и спецификации приборов и средств автоматизации.

Технологическое оборудование и коммуникации на ФСА изображают упрощенно (в сокращенном виде), без указания технологических аппаратов и трубопроводов вспомогательного назначения. Масштаб при этом не соблюдается. Изображенная таким образом технологическая схема должна давать ясное представление о принципе работы и взаимодействии со средствами автоматизации.

На технологических трубопроводах обычно показывают ту регулировочную и запорную арматуру, которая непосредственно участвует в контроле управления процессом, а также запорные и регулирующие органы, необходимые для определения относительного расположения мест отбора импульсов или поясняющие необходимость измерений.

Технические аппараты и трубопроводы вспомогательного назначения показывают только в тех случаях, когда они механически соединяются или взаимодействуют со средствами автоматизации.

Оборудование и коммуникации изображают тонкими линиями, технологические потоки выделяют более жирными линиями. Допускается изображать элементы объекта в виде прямоугольников, которые должны быть снабжены соответствующими наименованиями.

Соединения технологических трубопроводов обозначают точкой в узле условных линий.

Направление движения потоков указывают стрелками: жидкость —▷—, пар (газ) —▷— .

Трубопроводы, идущие к конечным аппаратам и устройствам, в которых нет приборов и средств автоматизации, на схеме обрывают. В месте обрыва ставят стрелку и дают пояснение. Например, «От насоса» или «В обслуживаемое помещение».

Функции контроля и управления на функциональных схемах автоматизации изображают согласно.

Условные обозначения приборов и средств автоматизации, применяемые в ФСА, включают графические, буквенные и цифровые обозначения, показывающие функциональные признаки приборов.

Все измерительные и преобразовательные приборы, установленные на технологическом объекте, изображаются на функциональных схемах автоматизации в виде окружностей (рис. 3, а, б).

Если приборы размещаются на щитах и пультах в центральных или местных операторных помещениях, то внутри окружности проводится горизонтальная разделительная линия (рис. 3, в, г).

Если функция, которой соответствует окружность, реализована в системе распределенного управления (например, в компьютеризированной системе), то окружность вписывается в квадрат (рис. 3, д).

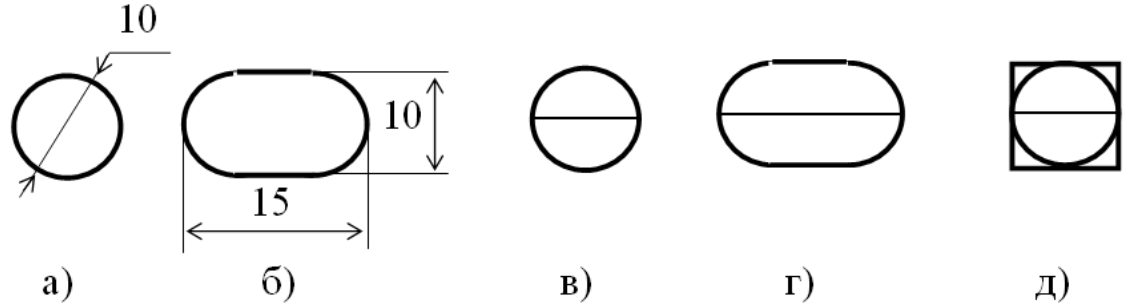


Рис. 3. Построение условно-графического обозначения измерительного прибора на ФСА:
а, б — приборы, установленные по месту;
в, г — приборы, установленные на щитах (пультах);
д — прибор в составе распределенного управления

Внутрь окружности вписываются:

в верхнюю часть — функциональное обозначение (обозначения контролируемых, сигнализируемых или регулируемых параметров, обозначение функций и функциональных признаков приборов и устройств) (табл. 1);

в нижнюю часть — позиционные обозначения приборов и устройств.

Места расположения отборных устройств и точек измерения указываются с помощью тонких сплошных линий. Отборное устройство для всех постоянно подключенных приборов изображают сплошной тонкой

линией, соединяющей технологический трубопровод или аппарат с прибором (рис. 4, а). При необходимости указания конкретного места расположения отборного устройства (внутри контура технологического аппарата) его обозначают кружком диаметром 2 мм (рис. 4, б).

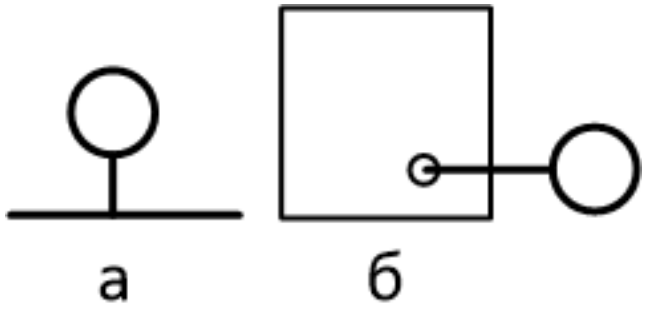


Рис. 4. Условные обозначения отборного устройства:
а — для всех постоянно подключенных приборов, б — с указанием конкретного места расположения.

Приборы и средства автоматизации, установленные дистанционно (например, в щитах управления), при развернутом методе показывают в прямоугольнике, изображающем щиты и пульты произвольных размеров, достаточных для нанесения графических условных обозначений, устанавливаемых на них приборов, средств автоматизации, аппаратуры управления и сигнализации. С помощью прямоугольника произвольных размеров изображают также программируемый логический контроллер (ПЛК) с указанием внутри прямоугольника типа устройства по документации фирмы-изготовителя.

Прямоугольники располагают в нижней части поля схемы в одном или нескольких горизонтальных рядах и в такой последовательности, при которой достигаются наибольшая простота и ясность схемы. В каждом прямоугольнике с левой стороны указывают соответствующее наименование. Приборы и средства автоматизации, которые расположены вне щитов (пультов) и конструктивно не связаны непосредственно с технологическим оборудованием и коммуникациями, условно показывают в прямоугольнике «Приборы местные». Этот прямоугольник располагают над прямоугольником щитов (пультов). При применении ПЛК допускается, кроме наименования всего комплекса, приводить сокращенные наименования или типы отдельных его блоков. При этом прямоугольник, изображающий ПЛК, делят горизонтальными линиями на части, число которых соответствует количеству блоков. Условные наименования или типы блоков наносят с левой стороны прямоугольника рядом с наименованием комплекса. Точки входа и выхода сигналов на прямоугольниках соответствующих блоков показывают кружками диаметром 1,5–2 мм.

Правила построения условных обозначений приборов на ФСА

Размеры условных графических обозначений приборов и средств

автоматизации в схемах приведены в табл. 1. Графические обозначения приборов, средств автоматизации и линий связи приведены в табл. 2.

Условные *графические обозначения* на схемах должны выполняться линиями толщиной **0,5 - 0,6 мм.**

Горизонтальная *разделительная черта* внутри обозначения и линии связи должны выполняться линиями толщиной **0,2 - 0,3 мм.**

Условные обозначения приборов и средств автоматизации, применяемые в схемах, включают графические, буквенные и цифровые обозначения.

В верхней части графического обозначения наносят буквенные обозначения измеряемой величины и функционального признака прибора, определяющего его назначение.

В нижней части графического обозначения наносят цифровое (позиционное) обозначение прибора автоматизации.

Порядок расположения букв в буквенном обозначении принимают следующим:

– основное обозначение измеряемой величины;

– дополнительное обозначение измеряемой величины (*при необходимости*);

– обозначение функционального признака прибора.

Буквенные обозначения устройств, предназначенных для ручных операций, должны начинаться с буквы *Н.*

Таблица 1

Размеры условных графических обозначений приборов и средств автоматизации

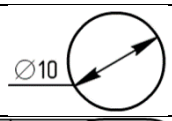
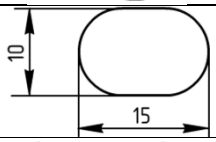
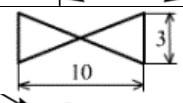
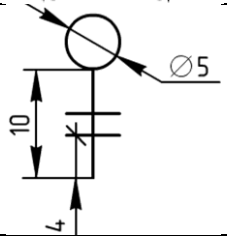
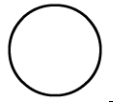
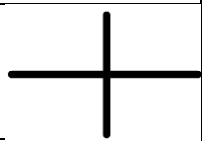
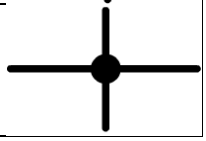
Наименование	**Обозначение**
Прибор:	
а) основное обозначение	
б) допускаемое обозначение	
Регулирующий орган	
Исполнительный механизм	

Таблица 2

Графические обозначения приборов, средств автоматизации и линий

связи

№п/п	Наименование	Обозначение
1	Прибор, устанавливаемый вне щита (по месту):	
	а) основное обозначение	
	б) допускаемое обозначение	
2	Прибор, устанавливаемый на щите, пульте:	
	а) основное обозначение	
	б) допускаемое обозначение	
3	Исполнительный механизм. Общее обозначение	
4	Исполнительный механизм, который при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала:	
	а) открывает регулирующий орган	
	б) закрывает регулирующий орган	
	в) оставляет регулирующий орган в неизменном положении	
5	Исполнительный механизм с дополнительным ручным приводом	
6	Линия связи. Общее обозначение	
7	Пересечение линий связи без соединения друг с другом	
8	Пересечение линий связи с соединением между собой	

Порядок расположения буквенных обозначений функциональных признаков прибора принимают с соблюдением последовательности обозначений: I, R, C, S, A.

Букву A применяют для обозначения функции «сигнализация».

Букву S применяют для обозначения контактного устройства прибора, используемого только для включения, отключения, переключения, блокировки.

При применении контактного устройства прибора для включения, отключения и одновременно для сигнализации в обозначении прибора используют обе буквы: S и A.

Предельные значения измеряемых величин, по которым осуществляется, например, включение, отключение, блокировка, сигнализация, допускается конкретизировать добавлением букв H и L. Эти буквы наносят справа от графического обозначения.

При необходимости конкретизации измеряемой величины справа от графического обозначения прибора допускается указывать наименование или символ этой величины.

Для обозначения величин, не предусмотренных данным стандартом, допускается использовать резервные буквы. Применение резервных букв должно быть расшифровано на схеме.

Подвод линий связи к прибору изображают в любой точке графического обозначения (сверху, снизу, сбоку). При необходимости указания направления передачи сигнала на линиях связи наносят стрелки.

Принцип построения условного обозначения прибора приведен на рис.3.

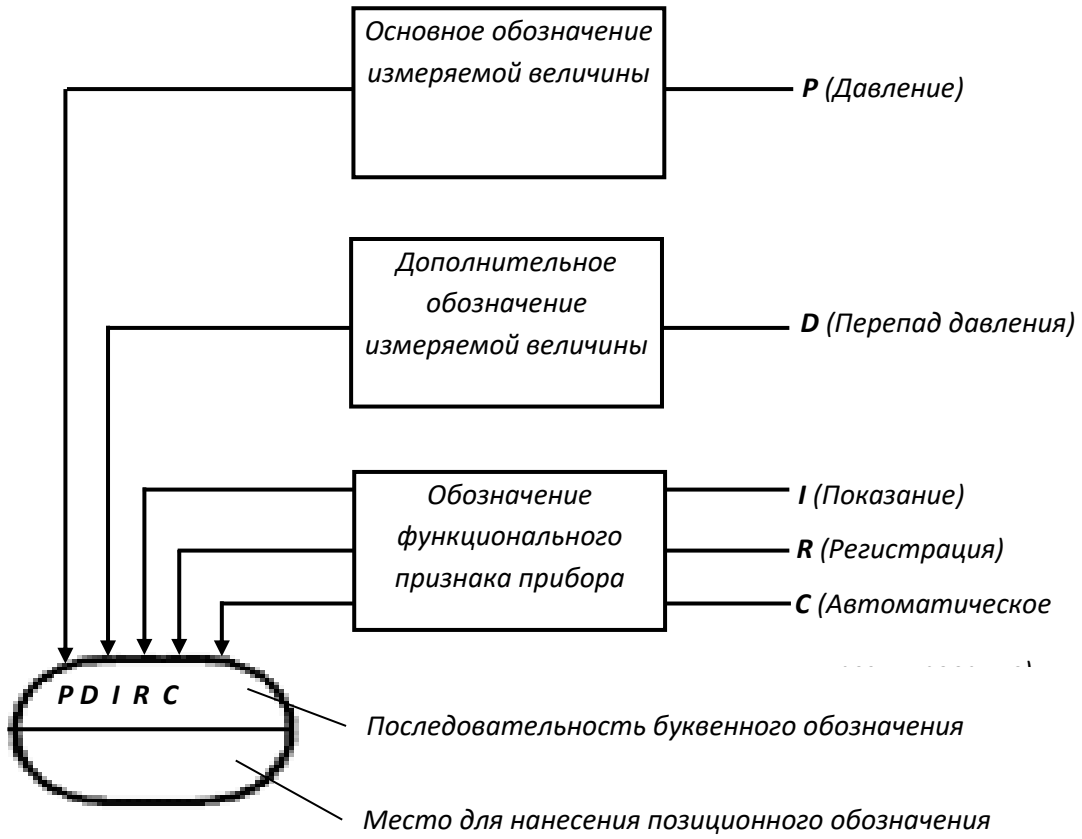


Рис. 3. Принцип построения условного обозначения прибора

В функциональных схемах автоматизации, последовательности буквенных обозначений должно быть следующей:

1 буква – обозначение основной измеряемой величины:
D - плотность,
E - любая электрическая величина,
F - расход,
G - положение, перемещение,
H - ручное воздействие,
K - временная программа,
L - уровень,
M - влажность,
P - давление,
Q - состав смеси, концентрация,
R - радиоактивность,
S - скорость (линейная или угловая),
T - температура,
U - разнородные величины,
V - вязкость,
W-масса, сила.

2 буква – обозначение, дополнительное (уточняющее основную) измеряемую величину:

D - разность, перепад,
F - соотношение,
J - автоматическое переключение,
Q - суммирование, интегрирование.

3 буква (несколько букв) – обозначение функционального признака прибора:
I - показания,
R - регистрация,
C - регулирование,
S - переключение,
Y - преобразование сигналов, переключение,
A - сигнализация,
E - первичное преобразование параметра,
T - промежуточное преобразование параметра, передача сигналов на расстояние,
K - переключение управления с ручного на автоматическое и обратно, управление по программе, коррекция.

Если в одном приборе несколько функциональных признаков, то порядок их расположения следующий: I, R, C, S, A.

В нижней части окружности, наносится обозначение позиций (цифровые или буквенно-цифровые).

Буква E применяется для обозначения чувствительных элементов, т. е. устройств, выполняющих первичное преобразование, т.е. датчиков, например, термометров термоэлектрических (термопар), термометров сопротивления, сужающих устройств расходомеров, тензометрических датчиков, датчиков пути и положения и пр.

Буква T обозначает промежуточное преобразование – дистанционную передачу сигнала. Ее рекомендуется применять для обозначения приборов с дистанционной передачей показаний, например, бесшкальных манометров (дифманометров), манометрических термометров с дистанционной передачей и других подобных приборов.

Буква K применяется для обозначения приборов, имеющих станцию управления, т. е. переключатель для выбора вида управления (автоматическое, ручное) и устройство для дистанционного управления.

Буква Y рекомендуется для построения обозначений преобразователей сигналов и вычислительных устройств.

Буква U может быть использована для обозначения прибора, измеряющего несколько разнородных величин. Расшифровка этих величин приводится около прибора или на поле чертежа.

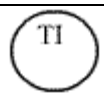
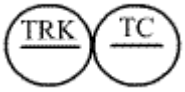
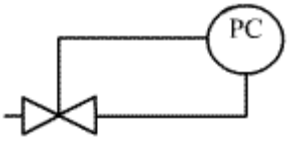
Примеры построения условных обозначений приборов и средств автоматизации.

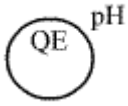
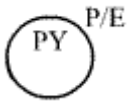
Примеры построения условных обозначений приборов и средств

автоматизации приведены в табл. 3.

Таблица 3.

Примеры условных обозначений приборов и средств автоматизации

Наименование и функции	Обозначение
Первичный измерительный преобразователь для измерения температуры, установленной по месту. Например: термопара, термометр сопротивления.	
Прибор для измерения температуры показывающий, установленной по месту. Например: термометр ртутный, термометр манометрический.	
Прибор для измерения температуры показывающей, установленный на щите. Например: милливольтметр, потенциометр.	
Прибор для измерения температуры с автоматическим обегающим устройством, регистрирующий установленный на щите. Например: многоточечный самопишущий потенциометр, мост автоматический.	
Прибор для измерения температуры регистрирующий, регулирующий, установленный на щите. Например самопишущий регулятор температуры.	
Регулятор температуры безшкальный, установленный по месту. Например: дилатометрический регулятор температуры.	
Комплект для измерения температуры регистрирующий, регулирующий, снабженный станцией управления, установленный на щите.	
Регулятор давления, работающий без использования построенного источника энергии (прямого действия).	
Прибор для измерения давления (разряжения) показывающий, установленный по месту – показывающий манометр, тягомер, напоромер и т.п.	
Прибор для измерения давления (разряжения) регистрирующий, установленный на щите – самопишущий манометр или другой вторичный прибор регистрации давления	

Прибор для измерения любой электрической величины показывающий, установленный по месту.	
Прибор для измерения уровня бесшкальный, с дистанционной передачей показаний, установленный по месту.	
Прибор для измерения плотности раствора бесшкальный, с дистанционной передачей показаний, установленный по месту.	
Прибор для измерения влажности регистрирующий (вторичный), установленный на щите.	
Прибор для измерения скорости вращения привода регистрирующий, установленный по месту. Например: тахогенератор	
Прибор для измерения вязкости раствора показывающий, установленный на щите.	
Пусковая аппаратура для управления электродвигателем.	
Аппаратура ручного дистанционного управления, снабженная устройством сигнализации, установленная на щите.	
Первичный измерительный преобразователь для измерения качества продукта, установленный по месту. Например: датчик pH-метра.	
Прибор для измерения радиоактивности, показывающий, контактным устройством, установленный по месту. Например: прибор для показания и сигнализации предельно-допустимых концентраций **ά** и **β** –лучей.	
Прибор для измерения вязкости раствора, показывающий, установленный по месту. Например: вискозиметр показывающий.	
Преобразователь сигнала, установленный на щите. Входной сигнал электрический, выходной – тоже электрический. Например: преобразования т.э.д.с. термопары в сигнал постоянного тока.	
Преобразователь сигнала, установленный по месту. Входной сигнал – пневматический, выходной – электрический.	
Первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент) для измерения расхода, установленный по месту. Например: сопло,	

диафрагма, индукционный датчик расхода и т.п.	
Вычислительное устройство, выполняющее функцию умножения. Например: множитель на постоянный коэффициент К.	

Изображение линий связи

Связь между приборами и средствами автоматизации на функциональной схеме изображают однолинейно тонкими сплошными линиями.

Подвод линий связи к символу прибора изображается в любой точке окружности (сверху, снизу, сбоку). Линии связи выполняются по возможно кратчайшему расстоянию с минимальным числом изгибов и пересечений. Пересечение линиями связи изображений технологического оборудования и трубопроводов допускается, а обозначений приборов и средств автоматизации не допускается.

При пересечении, ответвлении и слиянии линий связи в случае функционального взаимодействия приборов (с соединением) в месте пересечения ставится точка. Примером пересечения (от ветвления) линий связи с их соединением и без соединения служит линия блокировки (рис. 4).

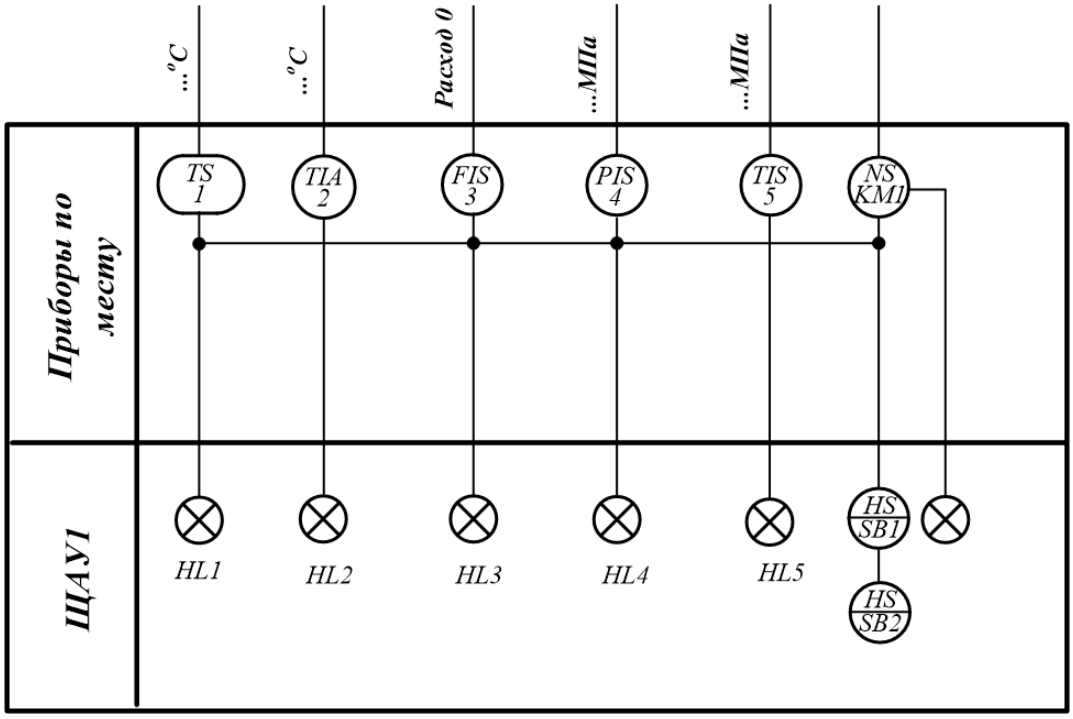


Рис. 4. Линии связи

Точки ставят в местах пересечения линии блокировки с линиями связи параметров, вызывающих останов или запрет пуска насоса (приборы — позиции 1, 3 и 4), и линией управления электродвигателем насоса (магнитный пускатель КМ1 и кнопки ручного управления SB1 и SB2). В местах пересечения линии блокировки с линиями связи параметров, которые подлежат только сигнализации и не вызывают останова электродвигателя насоса (приборы — позиции 2, 5), точка не ставится.

Для сложных объектов с большим количеством приборов и средств автоматизации, когда изображение непрерывных линий связи затрудняет чтение схемы, допускается их разрывать. В местах разрыва оба конца линии связи нумеруют одной и той же арабской цифрой. Нумерация разрыва линий связи выносится на основные базовые линии (вверх или вниз от технологического оборудования), обеспечивающие минимальное пересечение линиями связи изображения технологического оборудования и коммуникаций. Нумерация разрывов линий связи со стороны приборов дается в порядке возрастания номеров (рис. 5).

На участках линий связи со стороны приборов, изображенных в прямоугольниках щитов (пультов) или прямоугольниках «Приборы местные», слева, непосредственно у подхода их к первому прямоугольнику, допускается указывать предельные рабочие (максимальные или минимальные) значения измеряемых или регулируемых величин. Эти величины указываются в единицах шкалы выбранного прибора или в международной системе СИ. Разрежение (вакуум) обозначается знаком «–».

Для приборов, встраиваемых непосредственно в технологическое оборудование или трубопроводы и не имеющих линий связи с другими приборами, предельные значения можно указывать возле обозначения прибора.

Всем приборам и средствам автоматизации, изображенным на функциональной схеме автоматизации, присваивается позиционное обозначение (позиция) во всех материалах проекта.

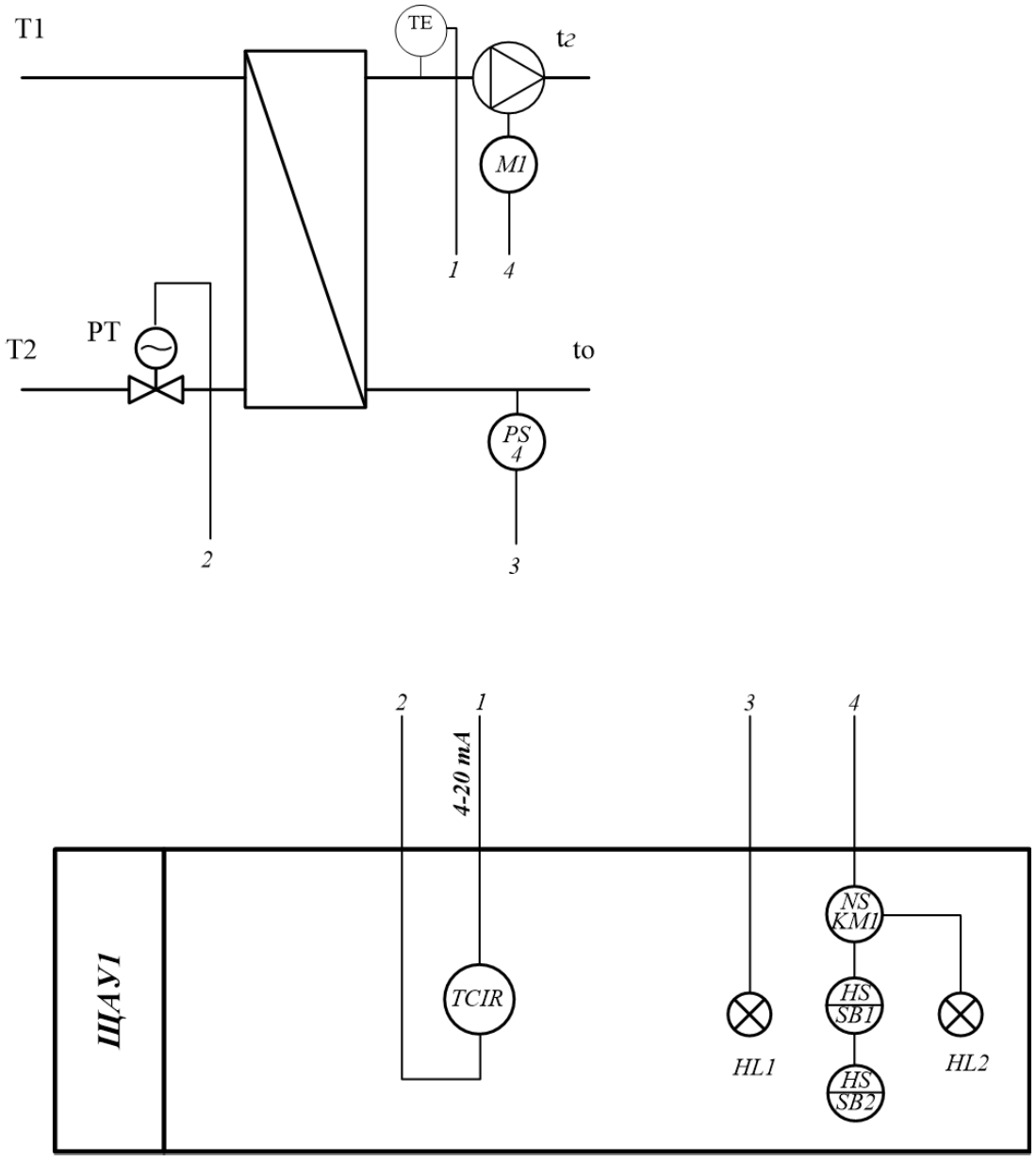


Рис. 5. Пример нумерации разрывов линий связи

Позиции приборов и средств автоматизации, изображенных на функциональной схеме, состоят из двух частей: цифрового обозначения, присвоенного комплекту (функциональной группе), и цифровых обозначений, присвоенных отдельным элементам, входящим в комплект (группу).

Примечание. Комплектом (функциональной группой) называется совокупность отдельных функционально связанных элементов,

выполняющих определенную задачу.

Цифровые обозначения присваивают каждому элементу комплекта в порядке возрастания в зависимости от последовательности прохождения сигналов (от устройства получения информации к устройствам воздействия на управляемый процесс). На рис. 6 показан пример комплекта 5, осуществляющего регулирование и регистрацию расхода жидкости. Сигнал от датчика расхода 5–1 поступает на регулятор расхода 5–2, где происходит сравнение измеряемой величины с заданной. Если измеренная величина расхода отличается от заданной, регулятор 5–2 выдает управляющее воздействие на исполнительный механизм 5–3, который воздействует на регулирующий орган, осуществляющий дросселирование потока. Отдельным приборам, не входящим в комплекты, например, показывающим термометрам, манометрам и т.п., присваиваются позиции, состоящие только из порядкового номера.

Порядковые номера присваивают, начиная с единицы, в пределах электроаппаратуры одного вида, которой на схеме присвоено одинаковое буквенное обозначение, например, автомат защитный QF1, QF2, QF3 и т.д., кнопка управления SB1, SB2 и т.д.

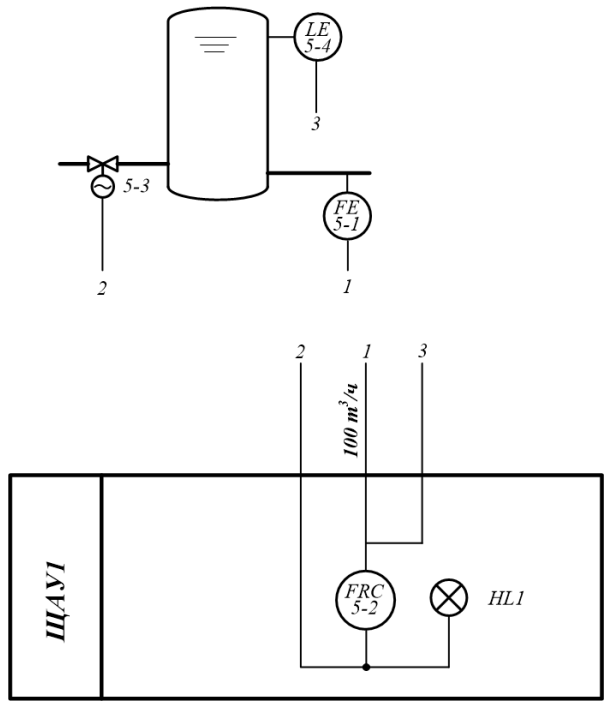


Рис. 6. Пример нумерации групп приборов

Позиции приборов и средств автоматизации, присвоенные им по спецификации, а также обозначения электроаппаратуры сохраняются во всех остальных документах проекта. Позиции приборов и средств автоматизации и позиционные обозначения электроаппаратуры проставляют в нижней части окружности. Если позиция или позиционное обозначение не помещается в

окружности, допускается нанесение его вне пределов окружности с правой стороны условного обозначения или над ним.

1.1.3 Автоматизация центральных и индивидуальных тепловых пунктов.

Объем и уровень автоматизации ЦТП определяется тепловой мощностью, соотношением тепловых нагрузок и схемой ЦТП. В типовых решениях для проектирования автоматизации ЦТП принято три схемы:

1 – смешанная схема присоединения водонагревателей горячего водоснабжения с ограничением расхода сетевой воды и независимое присоединение систем отопления; 2 – смешанная схема присоединения водонагревателей горячего водоснабжения с ограничением расхода сетевой воды и зависимое присоединение систем отопления; 3 – непосредственный водоразбор на горячее водоснабжение и независимое присоединение системы отопления.

Автоматический контроль

В схеме автоматизации ЦТП предусмотрено измерение:

1. температуры в подающем и в обратном трубопроводе тепловой сети, на входе и выходе сетевой и водопроводной воды каждой из ступеней водонагревателя горячего водоснабжения, воды на входе в систему отопления и обратной воды от системы отопления; температура воды измеряется стеклянными техническими термометрами типа П или У соответственно позиций 1-4; 12; 29-34;

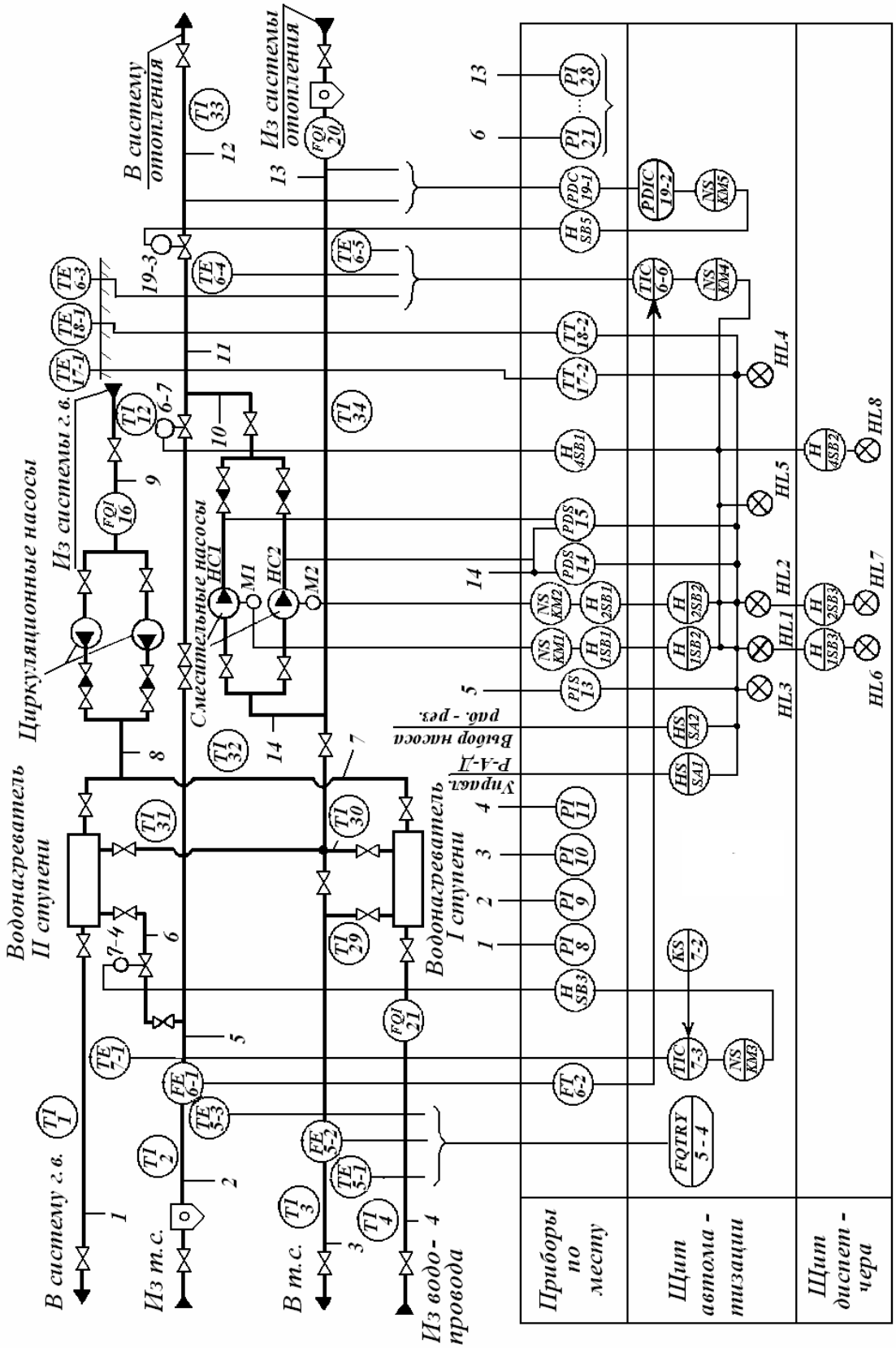


Рис. 7 представлена схема автоматизации ЦТП с двухступенчатой схемой с ограничением максимального расхода воды при зависимом присоединении системы отопления.

2) давления в подающем трубопроводе тепловой сети, обратном трубопроводе тепловой сети, холодном водопроводе, подающем и циркуляционном трубопроводе горячего водоснабжения, в подающем и

обратном трубопроводе системы отопления на выходе ЦТП, на входе и выходе сетевой и водопроводной воды каждой из ступеней водонагревателя горячего водоснабжения, на нагнетании смесительных насосов отопления, на нагнетании циркуляционных насосов горячего водоснабжения, до и после регуляторов давления; для измерения давления воды применяются показывающие манометры общего назначения типа МП-4У или др. соответственно позиций 8-11; 21-28;

3) расхода холодной воды, воды на циркуляцию в системе горячего водоснабжения и воды на отопление соответственно счетчиками 21, 16 и 20; расход холодной воды измеряется турбинными счетчиками СТВ-60; 80; 100; 150, а горячей воды СТВГ- 65-1; 80-1; 100-1; 150-1;

4) расхода теплоты, который можно измерить теплосчетчиком типа ТС-31м или других типов.

В состав теплосчетчика ТС-31м входят: устройство сбора и обработки данных (преобразователь) ФС-31м, датчики температуры воды 5-1 и 5-3 термопреобразователи сопротивления ТСП-0879 (градуировка 100П) или (градуировка 100М) и датчик общего расхода сетевой воды на ЦТП 5-2, в качестве которого могут быть использованы расходомеры переменного перепада в составе дифманометра с измерительной диафрагмой или электромагнитный расходомер.

В крупных ЦТП для измерения температур и давлений применяют самопишущие приборы.

Автоматическое управление и регулирование

Предусмотрено автоматическое управление смесительными насосами системы отопления и циркуляционными насосами системы горячего водоснабжения.

Управление смесительными насосами (ручное - автоматическое - дистанционное) задается избирателем режима SA1, а выбор насоса (рабочий - резервный) избирателем режима SA2.

Ручное управление насосами НС1 и НС2 выполняется с помощью кнопок управления 1SB1 и 2SB1, установленных вблизи насосов или с помощью кнопок управления 1SB3 и 2SB3 на щите диспетчера.

Автоматическое управление насосами осуществляется следующим образом. Если наружная температура tн меньше заданной t3) то контакты датчиков температуры 17-1 и 18-1 разомкнуты, поэтому насосы НС1 и НС2 отключены. Контакты реле разности давлений РКС 14 и 15 будут замкнуты (разность давлений до и после насосов равна нулю) и клапан 6-7 регулятора отопления 6-6 полностью открыт.

При увеличении наружной температуры до tн = t3 (t3 находится в пределах от 7 до -5 °С, если расчетная температура – 15- 45 °С) контакт датчика 18-1 замыкается и подается сигнал на включение электродвигателя М1 рабочего насоса НС1. Давление воды в напорном патрубке насоса НС1 возрастает и контакт реле 15 размыкается, что приводит к деблокировке

клапана 6-7 и подключению выхода регулирующего прибора 6-6 регулятора отопления к цепям управления клапаном 6-7. В этом новом положении насос смешения НС1 включен, включен также регулятор отопления 6-6, следовательно, осуществляется автоматическое регулирование температуры воды на отопление в зависимости от температуры по заданному температурному графику отпуска теплоты. При более высокой наружной температуре, когда подмешивание одним насосом недостаточно (t3 находится в пределах от 11 до 3 °С, если расчетная температура - 15-45 °С) замыкается контакт датчика температуры 17-1 и подается сигнал на включение в работу второго насоса НС2. При снижении наружной температуры в начале отключится насос НС2, а затем НС1. Принципиальная электрическая схема управления насосами смешения дана в справочном пособии.

В схеме автоматизации предусмотрено ограничение максимального расхода воды с помощью дифманометра 6-2, который при наличии сигнала превышения расхода с помощью промежуточных командных устройств подает сигнал на отключение регулятора 6-6 и сигнал в виде импульсов на закрытие регулирующего клапана 6-7. Закрытие регулирующего клапана осуществляется импульсами и действует до тех пор, пока существует превышение расхода сетевой воды сверх расчетного значения. В качестве регулятора отопления могут быть использованы приборы РС29.2, Т48м или ЭРТ-1. Устройство ограничения расхода может быть реализовано с помощью приборов: дифманометра ДСП-71СГ с диафрагмой и контактным выходом; дифманометра ДМЭР с диафрагмой и выходом 0-5 мА через прибор РС29.2.33; индукционного расходомера ИР-61 через прибор РС29.2.33.

В качестве регулятора перепада давления (расхода) воды на отопление может быть применен регулятор давления РС29.1 и Р25.1, который получает сигнал от дифманометра 19-1 и воздействует через реверсивный пускатель КМ5 на регулирующий клапан 19-3. Если давление в подающей линии на входе ЦТП снижается до недопустимого значения, например, при аварии в тепловой сети, то электроконтактный манометр 13 подает сигнал на включение насосов НС1 и НС2 или только на насос НС2, если насос НС1 был уже включен.

Автоматическое включение резервного насоса осуществляется реле 14 и 15, которые при отключении рабочего насоса включают резервный насос.

Состояние насосов и причина их включения и отключения сигнализируются лампами HL1-HL8 на щите автоматизации и на щите диспетчера.

Управление циркуляционными насосами НЦ1 и НЦ2 показано на рис. 9. В технологической схеме ЦТП с двухступенчатой смешанной схемой с ограничением расхода воды при независимом присоединении системы отопления предусмотрены водонагреватель, подпиточные и циркуляционные насосы системы отопления. Схема автоматизации узла присоединения системы отопления через водонагреватель приведена на рис 8.

В схеме обеспечивается измерение температуры, давления и расхода горячей воды, поступающей в водонагреватель и в систему отопления. Измерение температуры осуществляется стеклянными техническими термометрами П или У позиций 2-4, давления - показывающими манометрами общего назначения типа МП-4У или др. позиций 9-15 и расхода воды турбинными счетчиками типа СТВГ позиций 5-6.

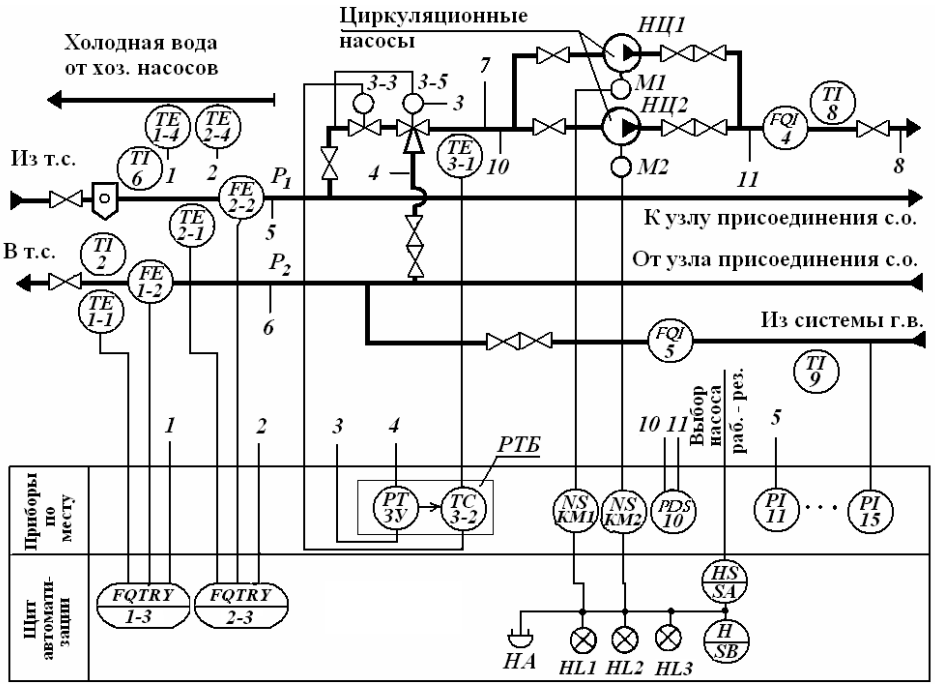


Рис. 8. Схема автоматизации узла присоединения системы отопления через водонагреватель

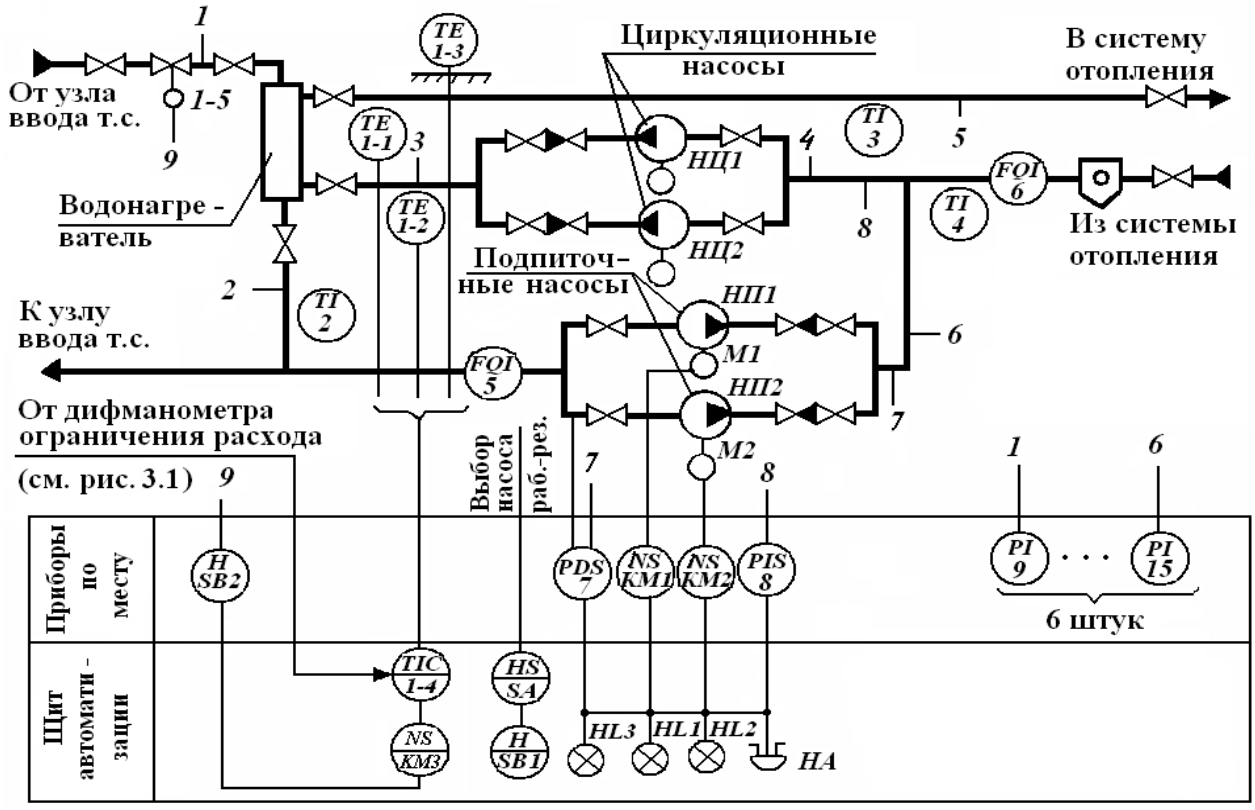


Рис. 9. Схема автоматизации узла присоединения системы горячего водоснабжения с непосредственным водоразбором.

Управление подпиточными насосами НП1 и НП2 рабочим и резервным осуществляется избирателем режима (переключателем) SA по команде от датчика давления в обратном трубопроводе системы отопления 8. При уменьшении давления до заданного значения P_{min} замкнувшийся контакт датчика давления 8 (ЭКМ) подает сигнал на включение рабочего подпиточного насоса. Если давление воды достигло заданного предела, фиксируемого контактом P_{max}, то подается сигнал на отключение рабочего подпиточного насоса.

При выходе из строя рабочего насоса замыкается контакт реле разности давлений 7 на нагнетании и насосов и подается сигнал на включение резервного насоса.

Состояние насосов во всех режимах работы сигнализируется лампами HL1-HL3 и звуковым сигналом НА на щите автоматизации. Снятие звукового сигнала НА и светового сигнала HL3 о включении АВР осуществляется кнопкой управления SB1.

Управление циркуляционными насосами показано на рис. 9. В схеме автоматизации (см. рис. 8) предусмотрено регулирование температуры (разности температур) воды на отопление с коррекцией по температуре наружного воздуха. В качестве регулятора отопления могут быть использованы приборы РС29.2, Т48м или ЭРТ-1.

Ограничение максимального расхода воды на отопление предусматривается в схеме при прохождении пика нагрузки горячего водоснабжения. В этот промежуток времени по сигналу от расходомера 6-2 (см.

рис. 7) регулятор отопления 1-4 отключается от регулирующего клапана 1-5 и клапан присоединяется к расходомеру 6-2. Клапан 1-5 прикрывается и расход сетевой воды на отопление снижается. Здания в этом случае недотапливаются. При малой нагрузке горячего водоснабжения по сигналу от расходомера 6-2 (рис. 3.1) к регулирующему клапану 1-5 вновь подключается регулятор отопления 1-4. Это приводит к открытию клапана 1-5, увеличению расхода теплоты на отопление. В этом режиме регулятор отопления 1-4 обеспечивает такую подачу теплоты в здания, чтобы их суточные теплопотери были полностью покрыты суточным расходом теплоты на отопление.

В технологической схеме ЦТП с независимым присоединением системы отопления и с непосредственным водоразбором вместо водонагревателей горячего водоснабжения установлен трехходовой смесительный клапан регулятора температуры воды на горячее водоснабжение. Схема автоматизации узла присоединения системы горячего водоснабжения с непосредственным водоразбором дана на рис. 9.

В схеме автоматизации (рис. 9) обеспечивается измерение температуры, давления и расхода горячей воды, поступающей в систему горячего водоснабжения и в систему отопления. Измерение температуры осуществляется стеклянными техническими термометрами П или У позиций 6-9, давления - показывающими манометрами общего назначения типа МП-4У или др. позиций 11-15 и расхода горячей воды - турбинными счетчиками типа СТВГ позиций 4,5. Особенностью схемы (рис. 9) является наличие двух теплосчетчиков 1-3 и 2-3, обеспечивающих требуемое согласно правилам учета двух поточное измерение потребленной ЦТП теплоты, так как из тепловой сети горячая вода отбирается на нужды горячего водоснабжения и расходы воды в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети не одинаковы.

Управление циркуляционными насосами НЦ1 и НЦ2 осуществляется переключателем SA. При включении схемы в зависимости от выбранного положения переключателя SA включается в работу один из насосов (рабочий). Если рабочий насос остановился или не включился, то замыкается контакт реле разности давлений на нагнетании и всасе насосов 10, чем подается команда на включение резервного насоса. Одновременно загорается лампа HL3 и подается звуковой сигнал от устройства HA. Отключение HL3 и HA осуществляется кнопкой управления SB.

В качестве регулятора температуры горячей воды на горячее водоснабжение в схеме применен регулятор типа РТБ комплектной компоновки (при диаметре условного прохода 100-250 мм). Регулятор состоит из пяти монтируемых по месту элементов - датчика терморегулирующего ТМП 3-2, регулятора УРРД-М 3-3 с гидроприводом одностороннего действия, смесительного трехходового клапана КС 3-5, устройства защиты ЗУ, фильтра (на схеме не показан). При диаметрах условного прохода 40, 50, 80 мм применяется регулятор РТБ блочной

компоновки, у которого в одном изделии соединены три элемента - датчик ТМП, регулирующий смесительный клапан РКС и устройство защиты ЗУ. Кроме регулирования регулятор РТБ выполняет также и функции защиты систем отопления здания от опорожнения.

Регулирование воды на горячее водоснабжение осуществляется следующим образом. Если давление Р2 в обратном трубопроводе больше настройки ЗУ, клапан ЗУ находится в открытом положении и рабочая среда с давлением Рр поступает к датчику ТМП 3-2 и клапану КС 3-5, вследствие чего клапан КС 3-5 полностью открыт и вода из обратной линии поступает к точке смешения клапана. В этом положении с помощью датчика ТМП 3-2 и регулятора УРРД-М 3-3 осуществляется регулирование температуры смешанной воды на горячее водоснабжение изменением расхода сетевой воды из подающего трубопровода с давлением Р1.

В режиме защиты, когда давление Р2 меньше давления настройки ЗУ, соответствующего возможности опорожнения системы отопления здания, клапан ЗУ оказывается в закрытом положении, подача рабочей среды Рр к датчику ТМП 3-2 и клапану КС 3-5 прекращается, что приводит к закрытию регулятора 3-3 и клапана КС. Подача воды в систему горячего водоснабжения полностью прекращается.

Схемы автоматизации ИТП со смешанным присоединением водонагревателя горячего водоснабжения и с насосным и независимым присоединением системы отопления аналогичны схемам ЦТП на рис. 3.1 и схеме на рис.8 (без ограничения расхода). Другие схемы автоматизации ИТП представлены в типовом проекте N 903-04-43.86 для систем отопления с гидроэлеваторами.

1.1.4 Автоматизация насосных установок

Поскольку работа систем теплоснабжения неразрывно связана с работой сетевых и циркуляционных насосов, рассмотрим основные подходы при автоматизации насосных установок и станций.

Работа сетевых насосов связана с транспортированием больших объемов воды, что обуславливает большую инерционность тепловых сетей. В связи с этим устройства системы управления насосами и запорными органами насосных станций должна обладать высоким быстродействием. К таким устройствам систем автоматики могут быть отнесены дискретно работающие элементы, а также системы автоматических блокировок.

В зависимости от назначения насосной установки система автоматического регулирования должна обеспечить поддержание в требуемых пределах давления, расхода, температуры теплоносителя, а также автоматический или дистанционный пуск и останов насосов. При аварийной остановке рабочего насоса должно быть предусмотрено автоматическое включение резервного. Для дистанционного контроля за работой насосной установки предусматривается соответствующая сигнализация и при необходимости автоматическая запись давления, расхода и температуры

теплоносителя.

При автоматизации насосных установок необходимо иметь в виду, что аварийный останов сетевого насоса сопровождается резким повышением давления в обратной магистрали. Поэтому пуск резервных насосов должен предусматривать соответствующее открытие задвижек в линии нагнетания для восстановления нормального гидравлического режима и исключения гидравлических ударов в системе теплоснабжения.

Упрощенная схема автоматизации, обеспечивающая включение резервного насоса при аварийной остановке рабочего, приведена на рис. 10.

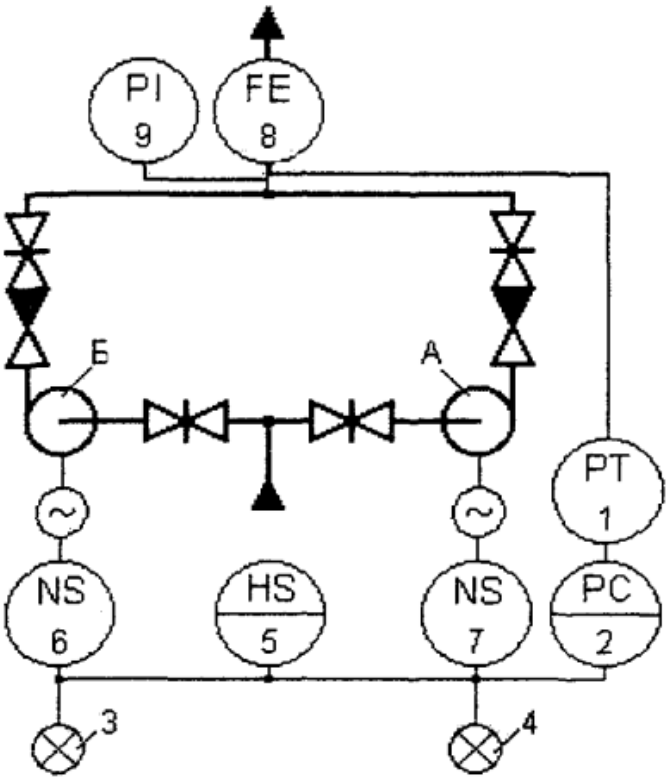


Рис. 10 Схема автоматического включения резервного насоса

При остановке рабочего насоса давление теплоносителя на линии нагнетания резко падает. Эта зависимость и положена в основу работы системы автоматики.

На нагнетательной линии после насосов устанавливают позиционный регулятор давления 2, нас троенный на номинальное давление системы и работающий совместно с датчиком давления 1. При остановке рабочего насоса А давление теплоносителя снижается, срабатывает регулятор давления 2, выключается магнитный пускатель 7 электродвигателя насоса и сигнальная лампа 4. Одновременно с помощью того же регулятора давления включается магнитный пускатель 6 резервного насоса Б и загорается сигнальная лампа 3. При этом насос Б начинает работать.

С помощью ключа управления 5 оператором осуществляется выбор режима управления работой установки, который может визуально контролировать величину давления на нагнетательной линии насосов с

помощью показывающего манометра 9.

При автоматизации насосов бывают случаи, когда разность давления теплоносителя при включённом и выключенном насосе меньше чувствительности регулятора давления. В этом случае искусственно увеличивают гидравлическое сопротивление сети путём установки диафрагмы 8, которая одновременно может служить датчиком перепада давления в системе измерения расхода теплоносителя.

Для автоматического поддержания постоянного давления теплоносителя на нагнетательной линии насосов может быть использована схема, приведенная на рис. 11.

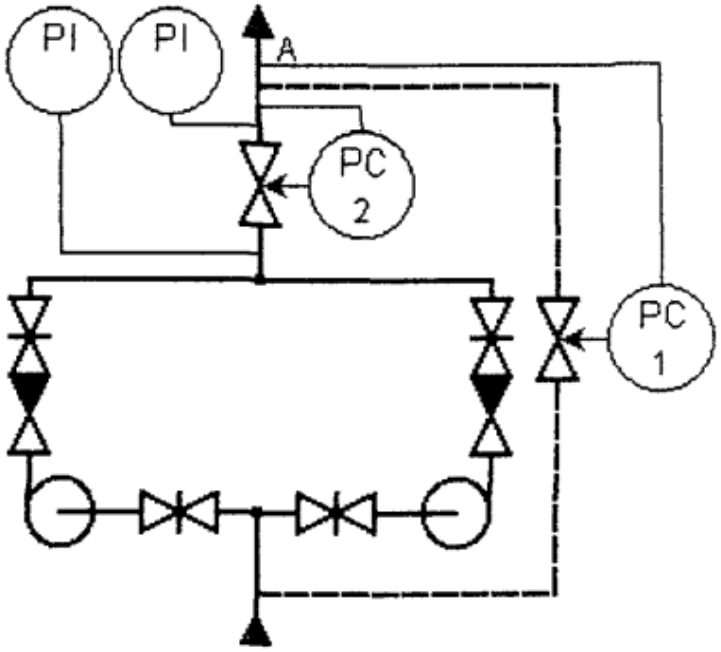


Рис. 11 Схема автоматического поддержания давления теплоносителя

Основным элементом схемы является регулятор давления прямого действия 2, установленный на линии нагнетания насосов.

В зависимости от изменения давления в системе, регулирующий клапан открывается или закрывается, поддерживая постоянное давление в точке А Постоянное давление в системе может поддерживаться также перепуском части теплоносителя в обратную линию. Для этого между прямой и обратной линиями теплоносителя монтируется перемычка (пунктирная линия), на которой устанавливаются регулятор давления прямого действия 1. При повышении давления в точке А клапан открывается, часть теплоносителя из прямой линии поступает в обратную и тем самым поддерживается постоянное давление в системе.

Работа сетевых насосов связана с транспортировкой больших объемов воды, что устанавливает принадлежность тепловых сетей к объектам высокой инерционности. Об этом свидетельствует тот факт, что скорость воды и давление после прекращения работы насоса падают еще около 40 с.

В связи с этим в схеме автоматизации сетевых насосов (автоматическая блокировка) должны предусматриваться пуск и останов радиальных насосов при открытых запорных органах на магистралях и ступенчатый пуск насосов с применением автотрансформаторов или гидромуфт, электродвигателей с фазным ротором или реактивных статорных резисторов.

Аварийный останов сетевых насосов сопровождается резким повышением давления в обратной магистрали. Поэтому необходимо также предусматривать автоматический пуск резервных насосов с частично или полностью открытой задвижкой, чтобы сократить время восстановления нормального режима и избежать гидравлического удара в системе. Следовательно, надо стремиться к большему быстродействию устройств системы дистанционного управления электродвигателями насосов и запорных органов.

Для изменения давления и пропускной способности тепловой сети на подающих и обратных магистралях устанавливаются насосные подстанции. Наибольшее распространение получили автоматические подстанции на обратных магистралях, в схемах автоматизации которых, помимо обычных для дистанционного управления подсистем (например, при подстанциях на подающей магистрали), предусматривается автоматическое регулирование давления во всасывающем коллекторе насосов. Регулирование обычно осуществляется дросселированием на напорном трубопроводе насосной подстанции, на обратной или на подающей магистрали тепловой сети, а также перепуском мимо насосов.

На рис. 12 приведена примерная схема автоматизации насосной подстанции, в которой предусматривается: блокировка насосов при включении резерва, блокировка приводов насоса и задвижки, регулирование давления во всасывающей магистрали, а также сигнализация о превышении нормативной температуры подшипников, понижении давления после насосов и перед ними. Не показана подсистема блокировки насосов подстанции с сетевого насоса ми, которые должны работать во взаимосвязи во избежание опрокидывания циркуляции и недопустимого повышения давления. Применяются электрическая блокировка с помощью традиционных релейно-контакторных схем и электрогидравлическая, основанная на естественной гидравлической связи между насоса ми в самой системе. В качестве регулятора используется электроконтактный манометр, контакты которого под действием импульсов по давлению, включенные в цепи управления сетевых насосов и насосов подстанции, осуществляют блокировку насосов.

Объем автоматизации подстанции позволяет полностью отказаться от обслуживающего персонала и без особых трудностей включить ее в систему диспетчеризации теплоснабжения.

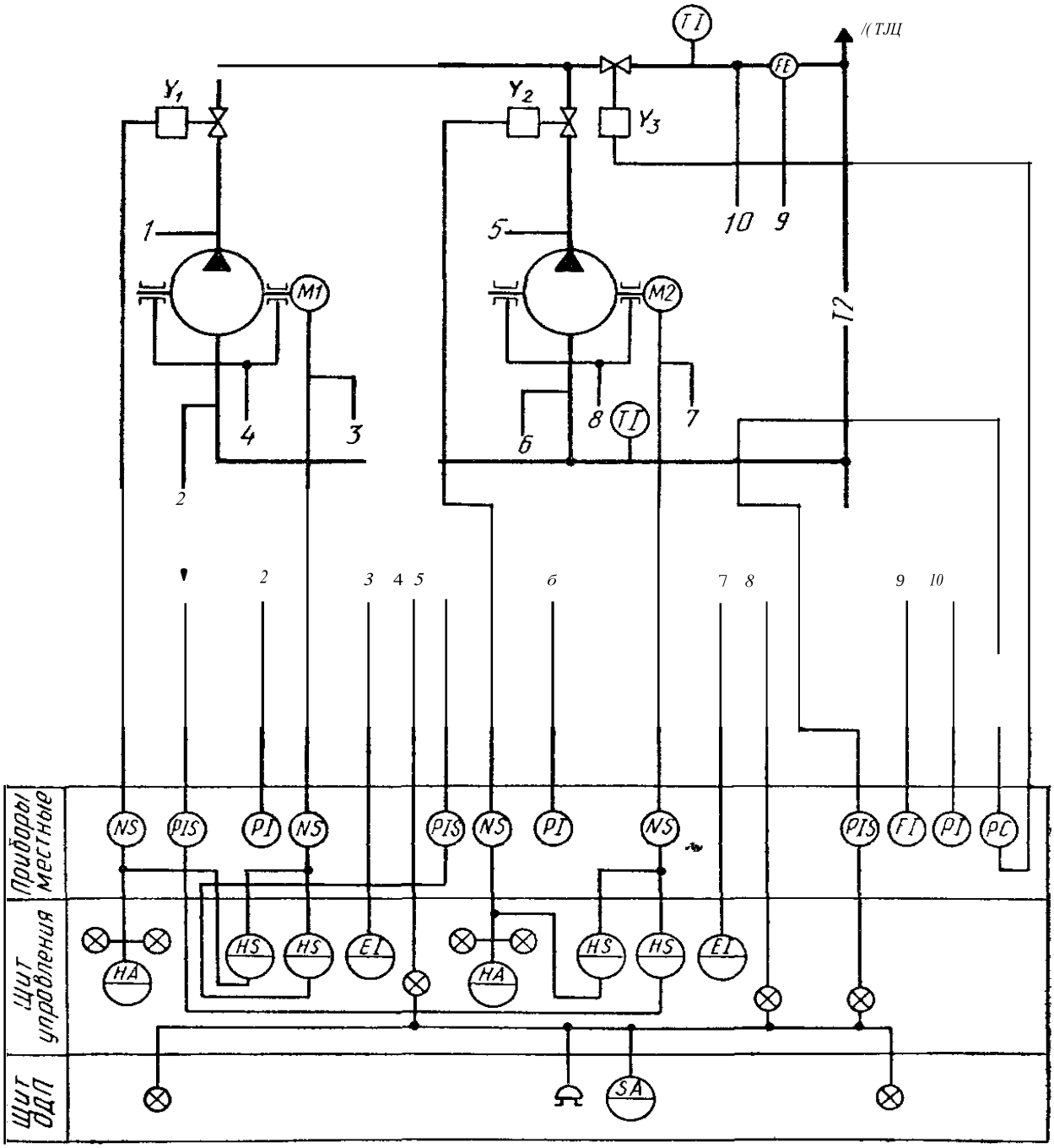


Рис. 12 Схема автоматизации насосной подстанции

Автоматизация насосных подстанций

Насосные подстанции устанавливают при сложных рельефах местности или при большой протяженности тепловых сетей. Насосные подстанции подразделяются на подкачивающие и смесительные. Подкачивающие подстанции устраиваются на подающих и обратных трубопроводах для повышения или снижения напоров. Смесительные подстанции устанавливают на транзитных магистралях или на ответвлениях распределительных трубопроводов.

Уровень автоматизации насосных подстанций определяется технологическими и эксплуатационными требованиями. В соответствии с этими

требованиями в схеме автоматизации насосной подстанции предусматривается:

1. блокировка электродвигателей насоса и задвижки на напорном патрубке насоса, так как насос пускается на закрытую задвижку;
2. блокировка насосных агрегатов с помощью системы автоматического включения резерва (АВР);
3. автоматическое включение резервного насоса при падении давления в напорном патрубке работающего;
4. автоматическое переключение на резервный источник электропитания, так как насосная подстанция является потребителем электрической энергии первой категории;
5. сигнализация о неисправностях работы насосной подстанции (например, превышение допустимой температуры в подшипниках насосов, автоматическое включение резервного насоса, понижение давления воды во всасывающем коллекторе насосной подстанции);
6. поддержание постоянного давления во всасывающем коллекторе насосной подстанции на обратной магистрали.

Примерная схема автоматизации насосной подстанции на обратной магистрали приведена на рис. 2.5. Схема предусматривает контроль основных параметров, управление насосными агрегатами и задвижками, а также регулирование давления во всасывающем коллекторе насосов.

Автоматический контроль

Предусматривается контроль трех основных параметров: давления во всасывающем коллекторе и в напорном патрубке насосов (приборы 2-1, 6-1, 11-1); температуры сетевой воды (приборы 16-1, 17-1), подшипников насосов и расхода сетевой воды.

Расход сетевой воды и давление во всасывающем коллекторе контролируются показывающими регистрирующими приборами 12-3 и 13-1, а превышение нормативной температуры подшипников и понижение давления во всасывающем коллекторе насосов сигнальными устройствами *HL*3, *HL*4, *HL*5, *HL*7, *HL*8 и звуковым устройством *HA*. Так же предусмотрен контроль уровня воды в дренажном приемнике и контроль силы тока в цепи электродвигателей насосов приборами *HL*6, 5-1 и 10-1. Отключение звуковой сигнализации осуществляется кнопкой управления *SB*.

Автоматическое управление

На насосной подстанции предусмотрено автоматическое управление подкачивающими насосами *НП*1 и *НП*2, и дренажными насосами (на рис. 2.5 не показаны). Для подкачивающих насосов предусмотрена взаиморезервирующая блокировка, которая выполняется с помощью электроконтактных манометров 2-1 и 6-1, получающих импульс давления из напорных патрубков насосов. При отключении рабочего насоса, например, *НП*1 автоматически включается резервный насос *НП*2. Пуск насосов *НП*1 и

*НП*2 осуществляется на закрытую задвижку, поэтому в схеме автоматизации предусмотрена блокировка насосов и задвижек избирателями режимов *SA*1 и *SA*3. При отключении блокировки управление задвижками может выполняться кнопками управления 1*SB*1 1*SB*3 и 2*SB*1 2*SB*3.

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 воды в магистралях и благоприятном рельефе местности давление в точке подпитки при всех режимах поддерживается постоянным.

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

Схема автоматизации подпиточных устройств при закрытой системе теплоснабжения приведена на рис. 16.

В схеме предусмотрены все виды автоматизации: автоматический контроль, управление и регулирование.

Автоматический контроль

Предусмотрен контроль давления и расхода подпиточной воды, температуры воды в обратном трубопроводе тепловой сети и содержания кислорода, растворенного в подпиточной воде. Для этих целей применяются приборы: показывающие манометры 7-1 и 9-1 (см. рис. 16); вторичный прибор, показывающий и сигнализирующий манометр 10-2; показывающий и регистрирующий автоматический уравновешенный мост для измерения температуры 11-2; вторичный прибор, показывающий и регистрирующий 6-3; автоматический кондуктометрический кислородомер, показывающий и сигнализирующий 5-3 типа АКП-201.

Автоматическое управление

Предусмотрено ручное и автоматическое управление подпиточными насосами *ПН*1 и *ПН*2, из которых один рабочий, а другой резервный. Выбор рабочего насоса осуществляется избирателем режима *SA*3. Если избиратели режима *SA*1 и *SA*2 установлены в ручное положение, то включение насосов *ПН*1 и *ПН*2 выполняется со станции управления 1-1 и 2-1.

При автоматическом управлении насосами избирателем режима *SA*3 выбирается рабочий насос (например, *ПН*1), а избиратели режима *SA*1 и *SA*2 устанавливают в положение автоматическое. В этот момент включается рабочий насос *ПН*1. При аварийном отключении рабочего насоса *ПН*1 электроконтактный манометр 3-1 своими контактами подает сигнал на включение резервного насоса *ПН*2. Таким образом, в схеме автоматизации предусмотрена взаиморезервирующая блокировка насосов.

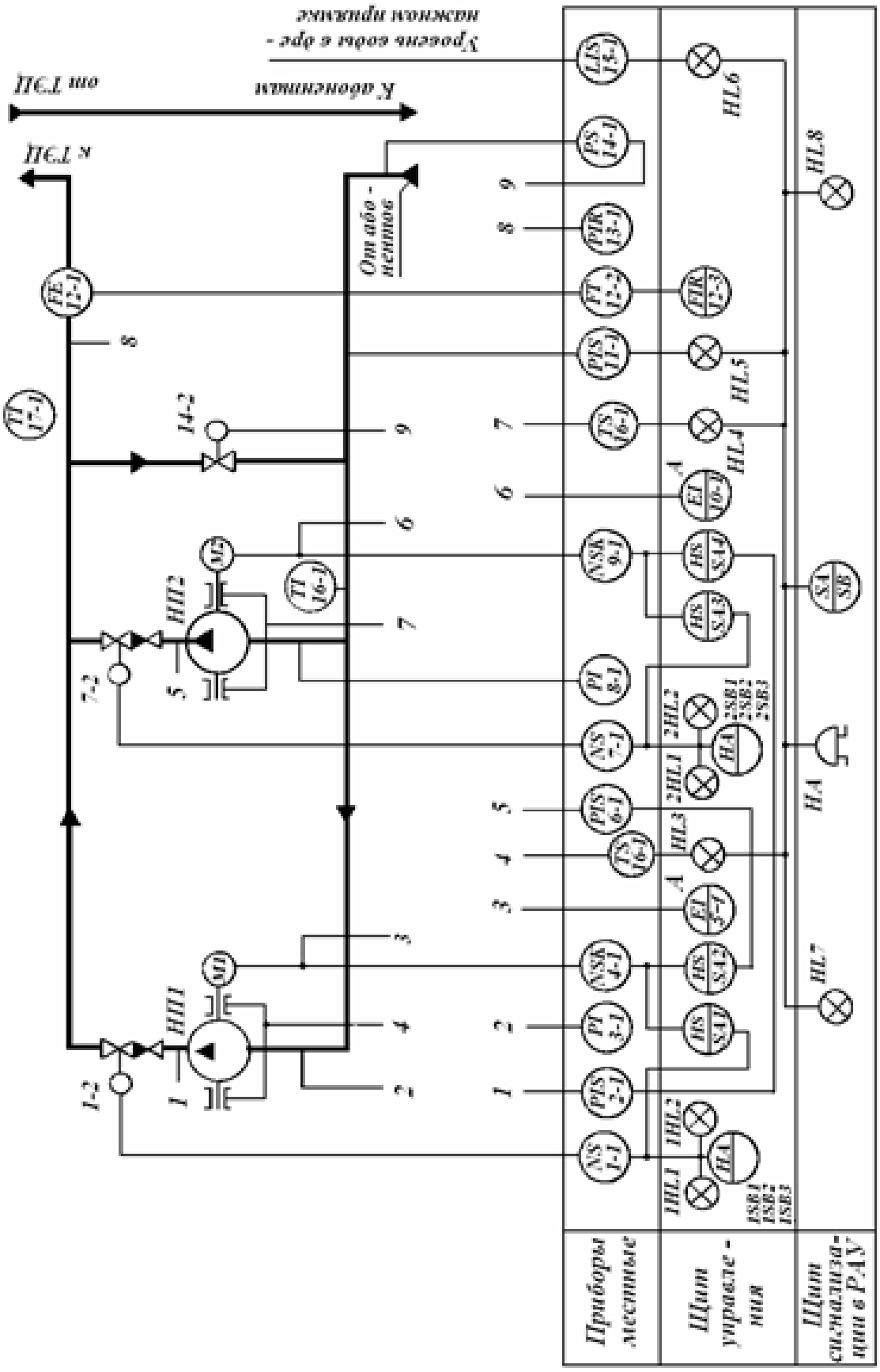


Рис. 13 Схема автоматизации насосной подстанции

Автоматическое регулирование и защита

Для обеспечения надежной работы тепловой сети и абонентских установок на отдельных участках тепловой сети требуется поддерживать заданные значения давления сетевой воды. При этом особое значение имеет режим подпитки и изменение давления в обратной магистрали. Повышение давления в обратном трубопроводе может вызвать недопустимый рост давлений в отопительных системах, присоединенных по зависимым схемам. Падение давления приводит к опорожнению верхних точек местных систем и к нарушению циркуляции в них.

Для ограничения колебаний давления в системе в одной, а при сложном рельефе местности в нескольких точках сети изменяют давление в зависимости от режима работы системы. Такие точки называются точками регулируемого давления. В тех случаях, когда по условиям работы системы давление в этих точках поддерживается постоянным как при статическом, так и при динамическом режимах, они называются нейтральными.

Вопросы поддержания заданного гидравлического режима тепловой сети в каждом конкретном случае решаются отдельно, с помощью регуляторов давления. Для примера рассмотрим общие принципы регулирования и защиты тепловой сети при условии, что местность понижается от ТЭЦ. Предположим, что пьезометрический график сети имеет вид, представленный на рис. 14*а*, а схема регулирования и защиты на насосной подстанции - на рис. 14*б*.

На пьезометрическом графике (см. рис. 14*а*) необходимо поддерживать заданные давления в нейтральных точках $О_1$ и 0_{II}. Давление в нейтральной точке $О_1$ поддерживается регулятором подпитки на ТЭЦ (см. рис. 16), а давление в нейтральной точке $О_{1I}$ - двухточечным двухкаскадным регулятором давления - защиты *РД*-1 системы *ОРГРЭС*. Регулятор *РД*-1 (см. рис. 14*б*) состоит из четырех основных блоков: двух измерительно-усилительных трехсильфонных *РД*-3м-1 защиты и *РД*-3м-II - давления перед насосами, усилителя второго каскада *У*2 и общего мембранного регулирующего клапана с противовесом *РК*-1. Основную роль выполняет регулятор давления (*РД*-3м-II + *РК*-1), который поддерживает заданное давление в нейтральной точке $О_{II}$ путем изменения расхода сетевой воды в подающем трубопроводе.

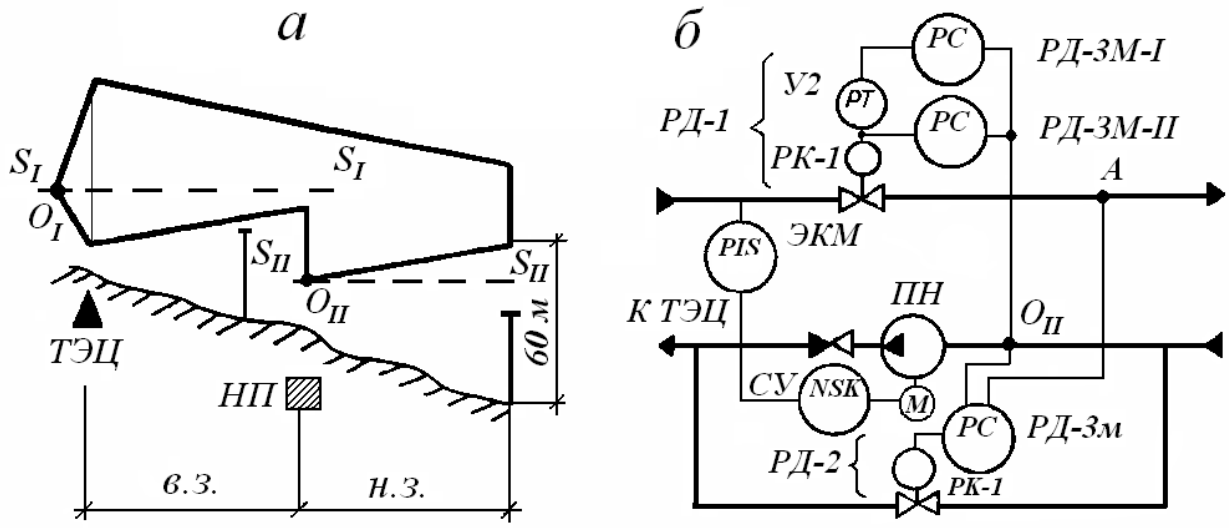


Рис. 14 Пьезометрический график и схема автоматического регулирования насосной подстанции на обратном трубопроводе

Таким образом, регулятор давления *РД*-1 и электронный регулятор типа *Р*25.1 на ТЭЦ обеспечивают заданный гидравлический (динамический) режим тепловой сети при сложном пьезометрическом графике, когда в работе находятся сетевые *СН* и подкачивающие *ПН* насосы. При аварийной или запланированной остановке сетевых насосов на ТЭЦ давление в подающем трубопроводе падает, на что реагирует электроконтакный манометр *ЭКМ* (рис. 146), который своими контактами подает сигнал на отключение электродвигателей подкачивающих насосов подстанции.

Так как статическое давления на отдельных участках тепловой сети не одинаковые, то тепловую сеть необходимо разделить на зоны. Автоматическая рассечка тепловой сети на верхнюю и нижнюю зоны осуществляется автоматом защиты (*РД*-3м-1 + *У*2 + *РК*-1), который настроен на предельное давление в нейтральной точке O_{II}.

В статическом режиме тепловой сети статический напор

S_1-S_1 верхней зоны поддерживается регулятором подпитки и подпиточными насосами на ТЭЦ.

Подпитка нижней зоны (статический напор S_{II} - S_{II}) осуществляется двухимпульсным регулятором подпитки *РД*-2 (*РД*-3м + *РК*-1) "после себя" системы *ОРГРЭС*. Импульс на открытие регулятора подпитки поступает из точки *А* на подающем трубопроводе. Падение давления в точке *А* до уровня давления в нейтральной точке O_{II} приводит к открытию регулирующего клапана *РК*-1 регулятора *РД*-2, и вода из верхней зоны поступает на подпитку нижней зоны.

Если местность от ТЭЦ повышается, то в статическом режиме подпитка нижней зоны осуществляется регулятором подпитки и подпиточными насосами на ТЭЦ, а для подпитки верхней зоны на насосной подстанции дополнительно устанавливают подпиточные насосы.

1.1.5 Автоматизация системы подпитки.

Подпитка тепловой сети служит для восполнения утечек и поддержания (фиксации) давления в заданных пределах и производится при работе и бездействии сетевых насосов.

Обеспечение необходимого баланса между утечкой и подпиткой может осуществляться с помощью подпиточного насоса, подпиточных резервуар ров-баков или гидрофоров (резервуар под давлением воздуха или пара).

Существует ряд технологических схем подпитки, но наибольшее распространение получили схемы подпитки с импульсом по давлению - в нейтральной точке Н на эквивалентной ветви тепловой сети (перемычке) или в нейтральной точке на обратной линии перед насосом.

Одна из принципиальных схем показана на рис. 15 Регулятор прямого действия РС управляет подпиткой от бака-аккумулятора А или насоса ПН. В схемах чаще используется гидравлический регулятор непрямого действия РД-3а с усилителем типа сопло - заслонка и мембранным исполнительным устройством (системы ОРГРЭС).

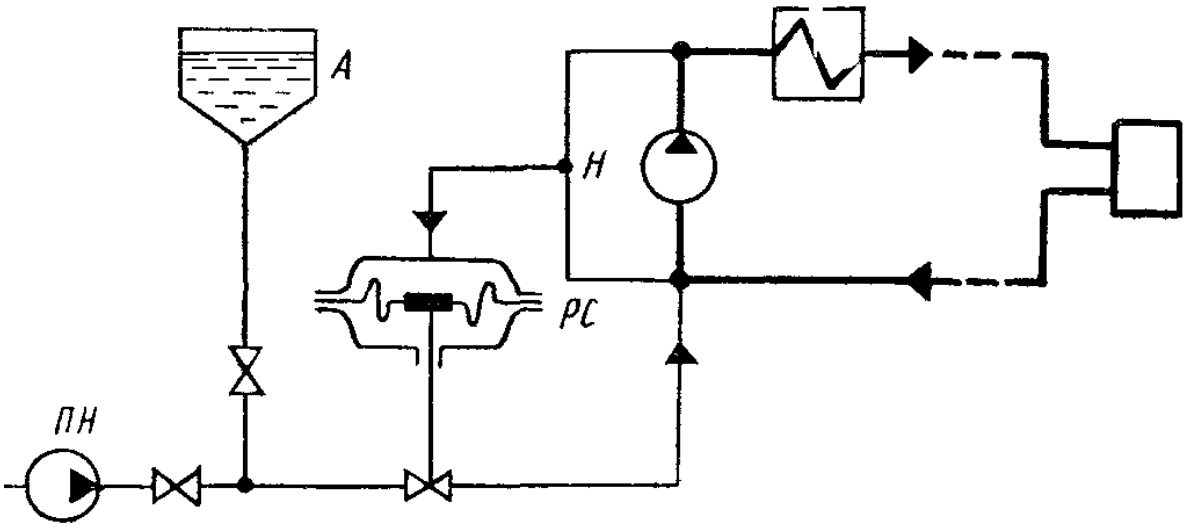


Рис. 15 Принципиальная схема системы подпитки

При подпитке открытой системы теплоснабжения используются двух импульсные регуляторы давления на базе электронного изодромного регулятора РПИБ-111, которые, кроме основного импульса по давлению, полу- чают еще второй от дифманометра МЭД по расходу воды в обратном трубопроводе.

В схемах подпитки также предусматривают регуляторы максимального давления, которые при повышении давления сверх заданного при закрытом регуляторе подпитки сбрасывают воду из системы.

Автоматическое регулирование

В схеме автоматизации предусматривается поддержание постоянного давления воды в обратном коллекторе тепловой сети на станции перед сетевыми насосами (в нейтральной точке O_I на специально выполненной

перемычке) регулятором подпитки "после себя". Давление в нейтральной точке O_I используется в качестве импульса, регулирующего величину подпитки.

В качестве регуляторов подпитки используются электронные ПИ-регуляторы давления типа *Р*25.1 или *РС*29.1. Принцип действия регулятора заключается в следующем. При отклонении давления сетевой воды в нейтральной точке O_1 от заданного значения в измерительном блоке регулятора 8-2, в результате сравнения сигналов от преобразователя давления 8-1 и от задающего устройства регулятора, вырабатывается сигнал ошибки, который усиливается и в виде импульсов постоянного напряжения передается на бесконтактный реверсивный пускатель 8-3 и далее на исполнительный механизм 8-4 регулирующего клапана на трубопроводе подпиточной воды. Клапан приоткрывается или прикрывается и через некоторый промежуток времени давление в нейтральной точке O_I (в месте подпитки) приближается к заданному значению (в пределах допустимой ошибки регулирования).

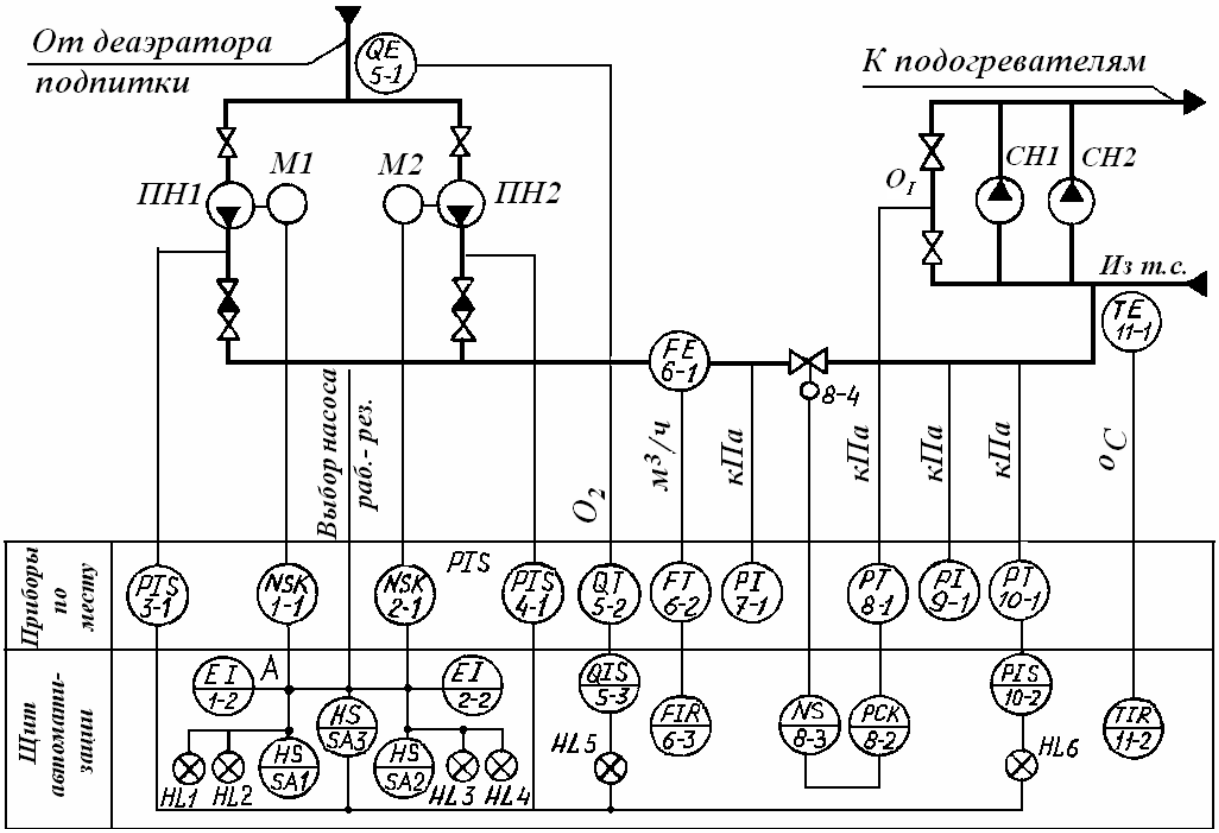


Рис. 16 Схема автоматизации подпитки при закрытой системе теплоснабжения

1.1.6 Автоматическая защита тепловой сети от повышения давления.

Автоматической защитой от превышения давления (АПЗД) обеспечивается отсечка теплового пункта от подающего и обратного сетевых трубопроводов местных потребителей тепла в случае аварийного повышения давления в обратном сетевом трубопроводе $P_{обр}$ с последующим возвращением системы к исходному режиму работы после устранения причины аварийной ситуации.

Устройства автоматической защиты предназначены для пунктов, в которых используется зависимая схема подсоединения отопительной и вентиляционной систем к тепловым сетям. Для работы системы используется энергия рабочей среды (подготовленной воды).

В состав системы автоматической защиты входят:

- отсечной регулятор, монтируемый на подающем трубопроводе;
- отсечной регулятор, устанавливаемый на обратном трубопроводе;
- управляющий клапан.

Отсечные регуляторы — встроенного типа запорные нормально открытые клапаны с поршневыми приводами. Установочное усилие возвратной пружины в приводе регулятора на обратном трубопроводе выше, чем в приводе регулятора на подающем трубопроводе. Управляющий клапан — импульсный клапан с дросселирующим блоком, устанавливаемые на отсечной регулятор на обратном трубопроводе.

Аварийное повышение давления в обратном сетевом трубопроводе приводит к автоматическому отключению теплового пункта от обоих сетевых трубопроводов следующим образом. Рабочая среда, которая представляет собой подготовленную воду, под давлением $P_{обр}$ подается из обратного сетевого трубопровода на вход управляющего импульсного клапана. Повышение давления $P_{обр}$ приводит к открыванию импульсного управляющего клапана, и рабочая среда поступает в мембранные коробки отсечных регуляторов давления. Отсечные регуляторы закрываются, отсоединяя местные трубопроводы от сетевых. При уменьшении давления в обратном сетевом трубопроводе управляющий клапан закрывается. Отсечные регуляторы открываются, и рабочая среда через дроссель сбрасывается в дренаж.

Последовательность и время срабатывания на открытие и закрытие у отсечных регуляторов давления различны:

- при закрытии регулятор на подающем трубопроводе срабатывает раньше регулятора на обратном трубопроводе;
- при открытии раньше срабатывает регулятор на обратном трубопроводе.

Это обеспечивает безопасное отключение локальной системы от сетевого трубопровода и ее автоматическое подключение при устранении

причины срабатывания.

Таблица 4.

Основные технические характеристики систем защиты тепловых пунктов

Марка системы защиты	АЗПД-20	АЗТ-87
Условный проход Ду, мм	15–150	40–200
Рабочая среда	Теплоноситель тепловых сетей (подготовленная вода)	Теплоноситель тепловых сетей
Условное давление рабочей среды Ру, МПа (кгс/см^2)	1,6 (16); 2,5 (25)	2,5 (25)
Температура рабочей среды, ^{o}С	150	150
Диапазон настройки давления срабатывания, кгс/см^2	0,2–1,6; 0,6–3; 2–6,5; 3–9	2–8; 6…12,5

При выборе типоразмера системы автоматической защиты теплового пункта учитывается условная пропускная способность устройства и параметры регулируемого потока среды.

Системы автоматической защиты от превышения давления (АЗПД-20)

Предназначены для защиты тепловых пунктов с присоединенными к ним местными системами потребителей теплоты от аварийного повышения давления в обратном сетевом трубопроводе путем отсечки теплового пункта от сетевых трубопроводов – подающего и обратного - при превышении давления в обратном сетевом трубопроводе уставки срабатывания и автоматического возвращения системы в исходное состояние после восстановления давления в обратном сетевом трубопроводе.

Принцип действия автоматической защиты от превышения давления (АЗПД-20) основан на использовании энергии рабочей среды.

Автоматическая защита от превышения давления (АЗПД-20) используется в тепловых пунктах с зависимой схемой присоединения систем отопления и вентиляции к тепловым сетям.

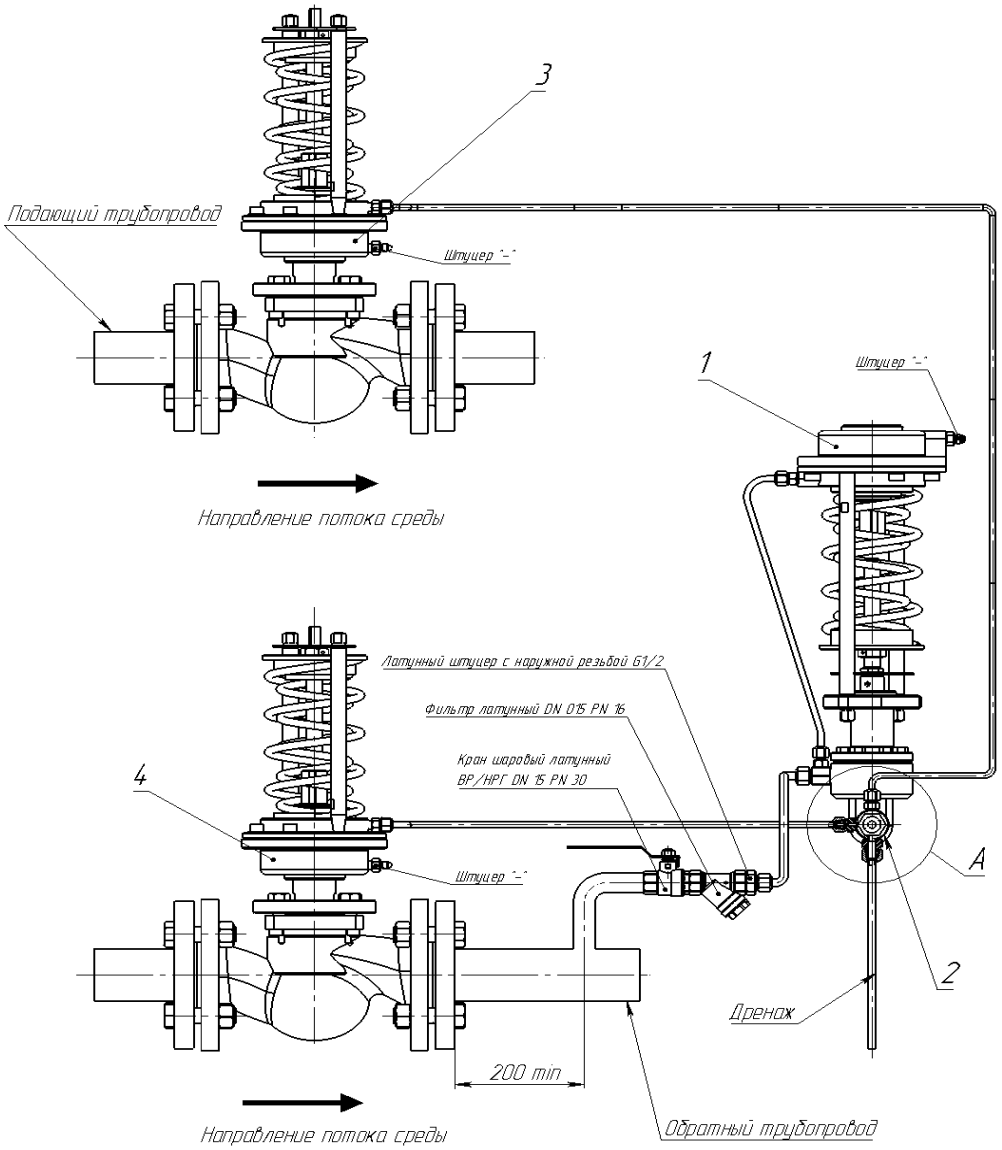


Рис.17 Описание и работа автоматической защиты от превышения давления

В состав входят:

- Отсечной регулятор давления (**3**), устанавливаемый на подающем трубопроводе;
- Отсечной регулятор давления (**4**), устанавливаемый на обратном трубопроводе;
- Импульсный клапан (**1**) и блок дросселирующий (**2**), установленные на отсечной регулятор давления (**4**);
- Импульсные капиллярные трубки.
- Импульсный клапан (**1**) и блок дросселирующий (**2**), устанавливаются на отсечном регуляторе давления (**4**) следующим образом:

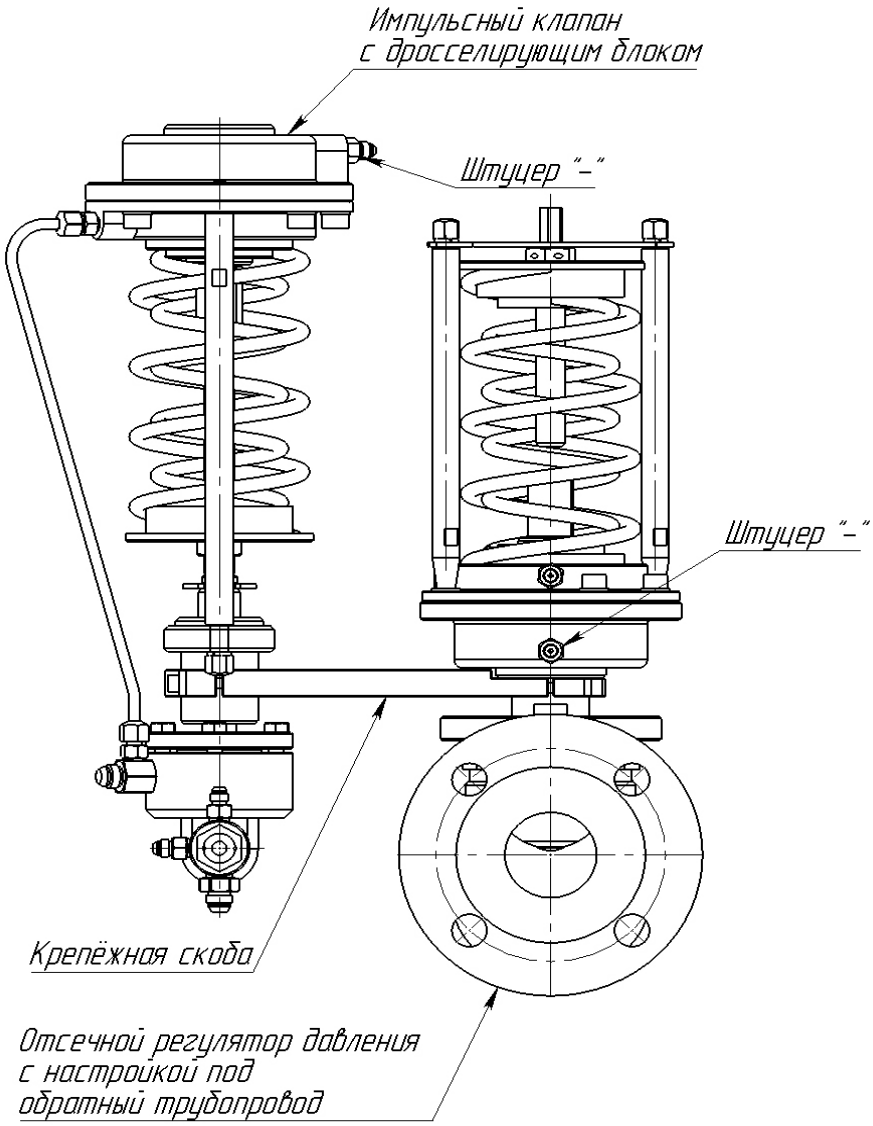


Рис.18 Импульсный клапан в сборе с отсечным регулятором давления

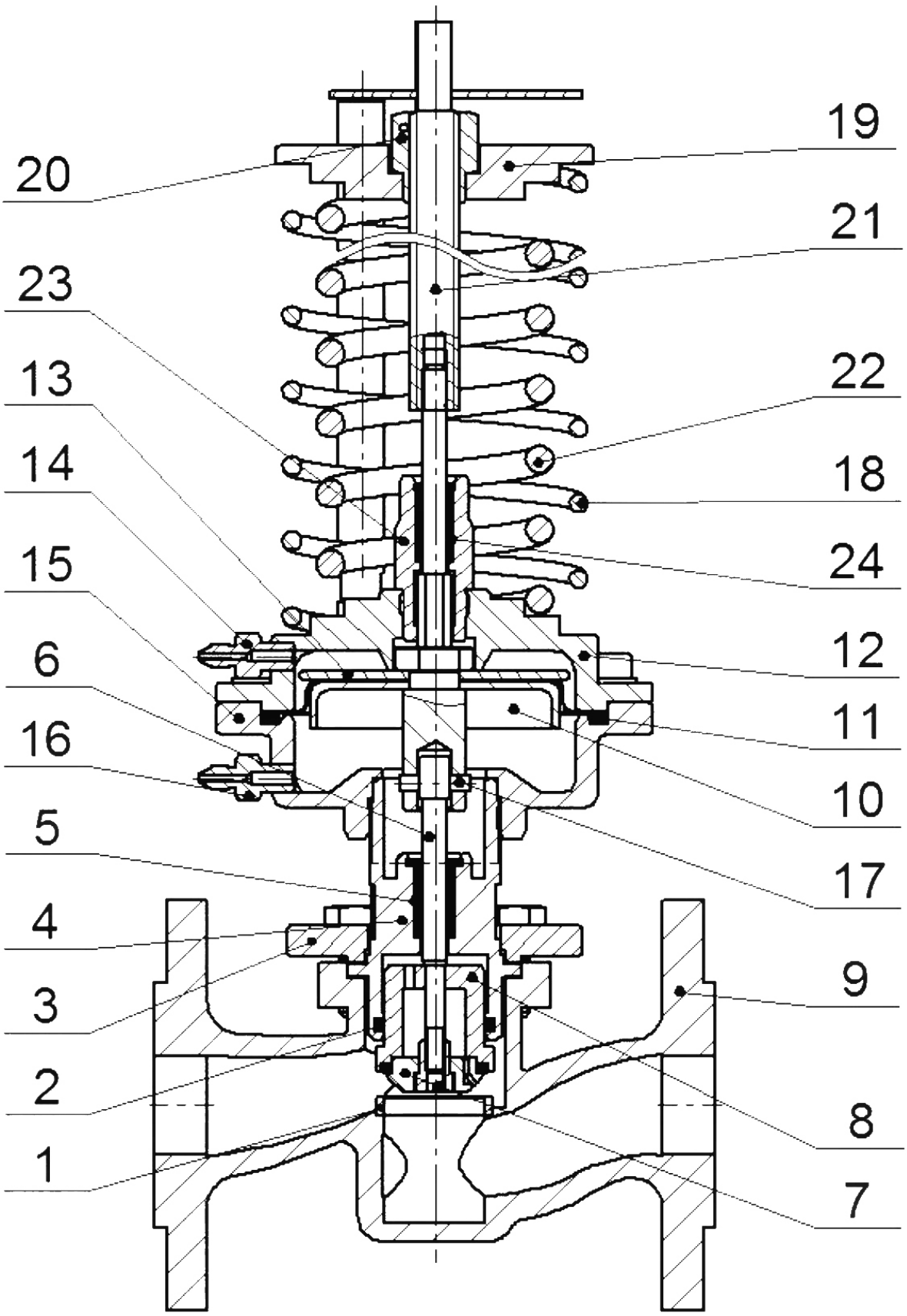


Рис.19 Устройство отсечных регуляторов давления

Таблица 5

Перечень деталей отсечных регуляторов давления

Перечень деталей отсечных регуляторов давления		
Позиции на рис.	**Наименование деталей**	**Наименование блока**
1	Седло	Клапан 01
2	Манжета	
3	Крышка клапана	
4	Стакан	
5	Уплотнительный узел	
6	Шток	
7	Тарелка	
8	Плунжер	
9	Корпус клапана	
10	Поршень мембраны	Привод 02
11	Мембрана	
12	Крышка(верхняя)	
13	Шайба	
14	Штуцер (+) с красным кембриком	
15	Крышка (нижняя)	
16	Штуцер (-)	
17	Штифт	
18	Пружина задатчика (меньшего усилия)	Задатчик 03
19	Шайба	
20	Гайка регулировочная	
21	Шток	
22	Пружина задатчика (большего усилия)	
23	Стакан	
24	Уплотнительный узел	

Установочное усилие пружины в регуляторе, устанавливаемом на обратном трубопроводе выше, чем в регуляторе, устанавливаемом на подающем трубопроводе. Это связано с необходимостью обеспечения определенной последовательности закрытия и открытия клапанов. Запрещено устанавливать усилие пружин на регуляторах выше усилия на импульсном клапане.

Принцип работы отсечных регуляторов давления:

- Клапан регулятора при отсутствии давления нормально открыт
- При подаче давления рабочей среды (от импульсного клапана) в полость отсечного клапана, усилие от действия этого давления на

эффективную площадь мембраны преодолевает усилие пружины и клапан закрывается.

- При прекращении подачи рабочей среды (от импульсного клапана) пружина возвращает клапан в исходное нормально-открытое положение. Рабочая среда при этом вытесняется из полости через дроссельный блок и импульсную трубку в дренаж.

Таблица 6

Перечень деталей импульсного клапана

Перечень деталей импульсного клапана	
Позиции на рис.	**Наименование деталей**
1	Седло
2	Манжета
3	Крышка клапана
4	Стакан
5	Уплотнительный узел
6	Шток
7	Тарелка
8	Плунжер
9	Корпус клапана
10	Поршень мембраны
11	Мембрана
12	Крышка(верхняя)
13	Шайба
14	Штуцер (+) с красным кембриком
15	Крышка (нижняя)
16	Штуцер (-)
17	Штифт
18	Пружина задатчика (меньшего усилия)
19	Шайба
20	Гайка регулировочная
21	Шток
22	Пружина задатчика (большего усилия)
23	Стакан
24	Уплотнительный узел

Импульсный клапан при отсутствии давления нормально закрыт. Импульс высокого давления подается по импульсной трубке (входит в комплект), подключённой в нижнюю камеру привода со стороны задатчика к штуцеру «+» (**16**), под мембрану (**11**). Импульс низкого давления (создаваемого атмосферой) подается на мембрану (**11**) со стороны задатчика (штуцер «-» поз. **14**).

Изменение регулируемой разницы давлений выше заданной величины,

установленной при помощи пружин (**18**) и (**22**) в задатчике, приводит к сдвигу штока (**21**) и прикрытию или открытию тарелки (**7**) клапана до момента, когда величина регулируемого перепада давления достигнет величины, установленной на задатчике. При снижении давления рабочей среды тарелка (**7**) садится на седло (**1**) и перекрывает поток рабочей среды на выход импульсного клапана.

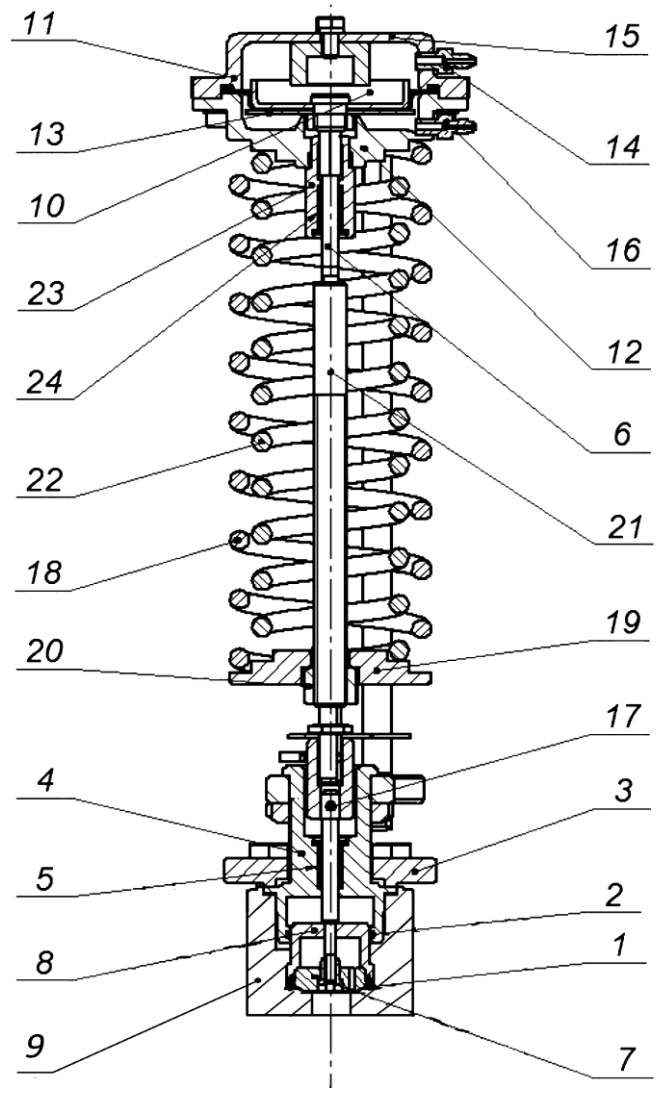


Рис. 20 Устройство и работа импульсного клапана

Настройка импульсного клапана на давление срабатывания производится вращением регулировочной гайки (**20**).

Блок дросселирующий состоит из корпуса (**1**) и двух одинаковых регулируемых дросселей.

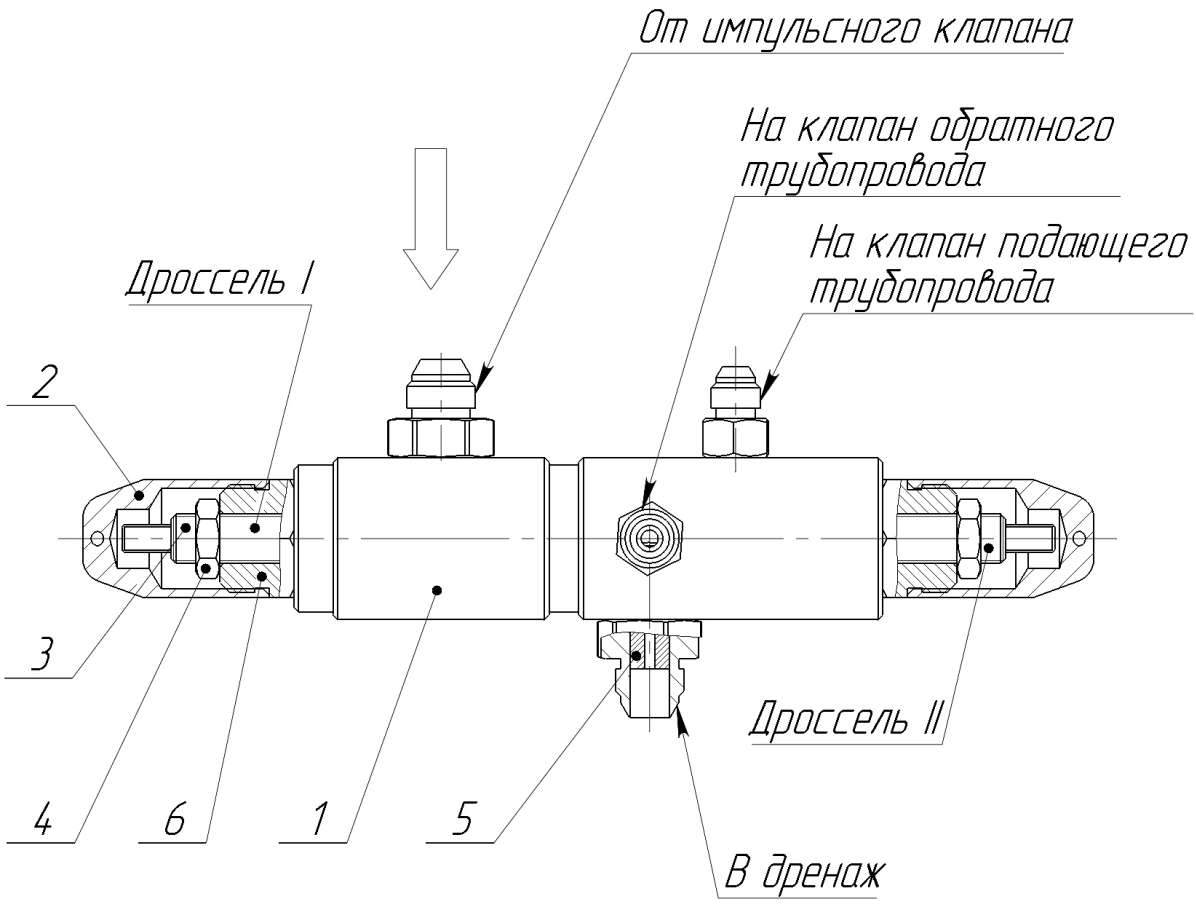


Рис. 21 Устройство блока дросселирующего

Каждый из дросселей состоит из винта (**3**) и футорки (**6**). Футорка (**6**) уплотняется в корпусе (**1**) кольцом. Уплотнение винта (**3**) в футорке (**2**) осуществляется резиновым кольцом. Настройка дросселя осуществляется вращением винта (**3**). Контргайка (**4**) служит для фиксации настроенного положения винта (**3**). Защитные колпачки (**2**) закрывают доступ к элементам настройки дросселей и имеют отверстия для пломбирования.

В дренажном штуцере устанавливается постоянный дроссель (**5**). К самому штуцеру подсоединяется импульсная трубка, по которой производится сброс рабочей среды в дренаж.

Работа автоматической защиты от превышения давления АЗПД-20

Рабочая среда из обратного трубопровода подается по импульсной трубке на вход импульсного клапана. При повышении давления в обратном сетевом трубопроводе до настроенного значения, импульсный клапан открывается, рабочая среда через дросселирующий блок по импульсным трубкам поступает в мембранные коробки отсечных регуляторов давления. Кроме того, небольшой расход через поступает по импульсной трубке в дренаж. При этом отсечные регуляторы давления закрываются и отсекают местную систему от сетевых трубопроводов.

При снижении давления в обратном сетевом трубопроводе, и, соответственно, на входе импульсного клапана, ниже давления настройки, импульсный клапан закрывается, и рабочая среда из мембранных коробок

отсечных регуляторов давления сбрасывается через дроссель и импульсную трубку в дренаж. Отсечные регуляторы давления при этом открываются.

Время и последовательность срабатывания отсечных регуляторов давления на закрытие и открытие различаются:

- при закрытии отсечной регулятор давления на подающем трубопроводе закрывается с опережением по отношению к отсечному регулятору давления, устанавливаемому на обратном трубопроводе;
- при открытии отсечной регулятор давления открывается с запаздыванием по отношению к отсечному регулятору давления.

Такая последовательность срабатывания отсечных регуляторов давления автоматической защиты от превышения давления АЗПД-20 необходима для безопасного отключения системы от сетевого трубопровода. Для этого в отсечном регуляторе давления пружина, уравновешивающая мембрану в открытом положении, имеет усилие сжатия выше, чем усилие пружины в отсечном регуляторе давления.

Скорость закрытия отсечного регулятора давления помимо установки усилия пружин регулируется путем изменения подачи рабочей среды в мембранную коробку отсечного регулятора давления через регулируемый дроссель, установленный в дросселирующем блоке.

Дроссель дросселирующего блока предназначен для ограничения скорости закрытия отсечных клапанов во избежание провоцирования гидроударов при высоких давлениях настройки.

Оба дросселя настраиваются и пломбируются предприятием-изготовителем.

Допускается подстройка дросселей при проведении пуско-наладочных работ непосредственно на объекте с последующей установкой пломб эксплуатирующей организации либо специализированной организации, обслуживающей систему автоматической защиты от превышения давления АЗПД-20.

Тема 2 «Система теплопотребления как объект регулирования». Регулирование теплового потока. Идеальное регулирование теплообменного прибора.

1.2.1 Объект регулирования

Объектом регулирования в тепловом пункте может быть вся система отопления, система теплоснабжения калориферов, система горячего водоснабжения, части этих систем, теплообменный прибор или процесс. Так, объектом регулирования для балансировочного клапана после насоса является вся система отопления; для балансировочного клапана на распределительной гребенке – часть системы; для регулятора теплового потока – теплообменник при независимом подключении либо смесеобразование (процесс) теплоносителя до требуемой температуры при зависимом подключении системы отопления. Аналогично определяют объект регулирования в системе теплоснабжения калориферов и в системе горячего водоснабжения. Отличительная особенность системы горячего водоснабжения заключается в том, что она разомкнута и объектом регулирования для водоразборного крана (регулирующий клапан) является водоразбор (процесс).

1.2.2 Регулирование теплового потока

Номинальный тепловой поток QN теплообменных приборов получают в результате тепловых испытаний в специальных климатических камерах при определенных нормированных влияющих факторах [54]. В реальных условиях эксплуатации расход G теплоносителя через теплообменный прибор, средний перепад температур □t между прибором и окружающим воздухом, способ подключения и много других факторов, как правило, отличаются от тех, при которых проводились испытания. Их учитывают поправочными коэффициентами к номинальному тепловому потоку. Причем одни из них являются постоянными (например, на цвет покраски, способ установки, способ подключения и т. д.), а другие – переменными. Закономерности влияния переменных факторов используют для регулирования теплового потока теплообменных приборов Q. С учетом изложенного, тепловой поток теплообменного прибора зависит от переменных факторов следующим образом:

$$Q = Q_N \left(\frac{\Delta t}{\Delta t_N}\right)^n \left(\frac{G}{G_n}\right)^m \qquad (1)$$

где n и m – показатели степени.

Показатель степени m = 0…0,18. Нижняя граница характерна для

радиаторов, верхняя – для конвекторов. В целом этот показатель весьма незначительно влияет на Q.

Показатель степени n = 1,25…1,35 характерен для всех конструкций кон векторов, а для радиаторов n = 1,3. Он существенно изменяет номинальный тепловой поток теплообменного прибора, что для конвектора либо радиатора показано на рис. 5.1 при температуре воды на входе, равной 90 °С. Влияние водогликолевой смеси на характеристики теплообменных приборов необходимо учитывать по рекомендациям производителей.

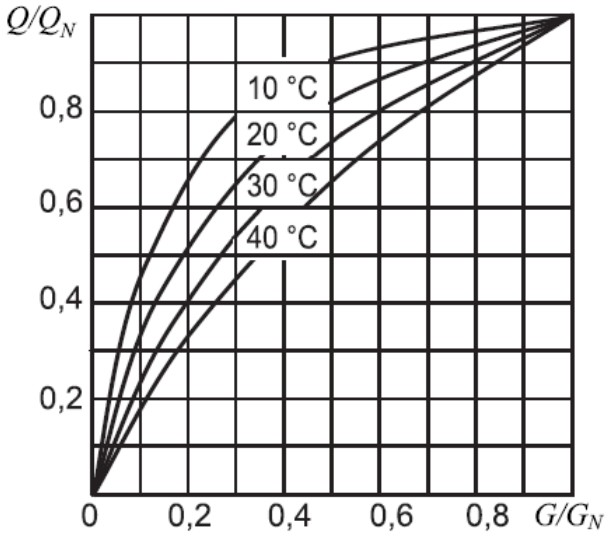


Рис. Зависимость теплового потока конвектора от перепада температур и расхода теплоносителя

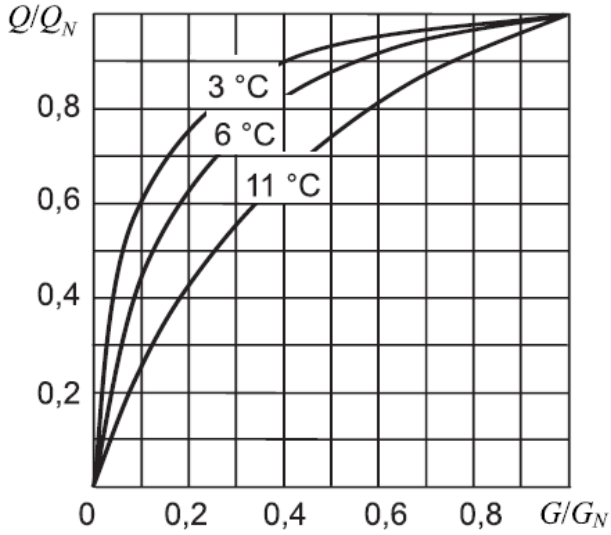


Рис. Зависимость теплового потока греющего пола от перепада температур и расхода теплоносителя

Уменьшение перепада температур теплоносителя между входом и выходом теплообменного прибора приводит к увеличению деформации кривой, характеризующей зависимость относительного теплового потока

Q/QN от относительного расхода G/GN теплоносителя. Значительная деформация этой кривой происходит в отопительных приборах однотрубных систем отопления. Несложно подсчитать, что, например, в десятиэтажном здании с однотрубной системой отопления и расчетным перепадом температур в 25 °С перепад температур в отопительных приборах составит 25/10 = 2,5 °С. Кроме того, в процессе качественного центрального регулирования системы изменяется перепад температур теплоносителя с 25 °С до примерно 15 °С, следовательно в отопительном приборе перепад температур уменьшается до 15/10 = 1,5 °С. Характеристика отопительных приборов при этом становится почти прямоугольной. В этом случае при незначительном открытии регулятора максимально возрастает теплоотдача отопительного прибора. Остальной ход штока регулятора будет бесполезным, поскольку происходит так называемое двухпозиционное регулирование – "открыто либо закрыто". Это приводит к скачкообразному регулированию теплового комфорта в помещении, увеличению вероятности шумообразования и уменьшению энергоэффективности системы. Регулирования тепловым потоком отопительных приборов в однотрубных системах достигать тем сложнее, чем больше отопительных приборов в стояке либо приборной ветке. Гораздо сложнее достичь линейного регулирования теплообменных приборов в однотрубных системах при модернизации теплового пункта, если у отопительных приборов отсутствуют терморегуляторы. Тогда все задачи по регулированию отопительных приборов возлагаются на регулирующий клапан теплового пункта.

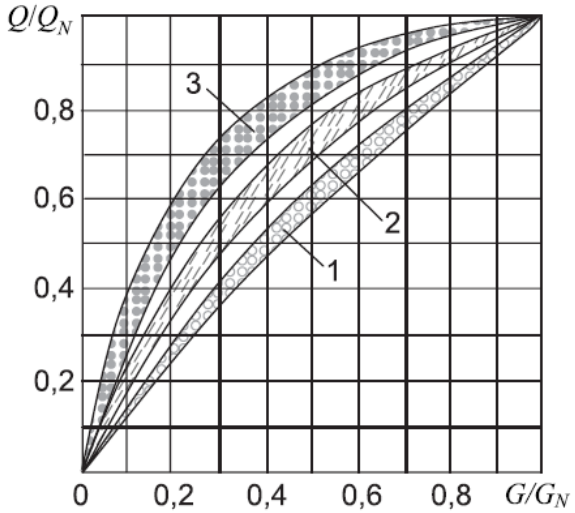


Рис. 5.3. Характеристика теплообменника при различных видах регулирования: 1 - качественном по температуре наружного воздуха; 2 -качественном по температуре помещения; 3 - количественном по температуре помещения

Именно значительная кривизна характеристики отопительных приборов является причиной отказа в европейских странах от применения однотрубных систем отопления. А модернизация тепловых пунктов с однотрубными системами (в бывших социалистических странах) предполагает дальнейшую модернизацию системы отопления путем

установки терморегуляторов у отопительных приборов, либо полную замену однотрубной системы отопления на двухтрубную с терморегуляторами.

В значительно лучших условиях происходит регулирование теплового потока отопительных приборов двухтрубной системы отопления, поскольку перепад температур в них равен перепаду температуры в системе отопления. Например, те же 25...15 °С. Получаемая кривизна характеристики отопительного прибора дает возможность количественно изменять расход теплоносителя ходом штока регулирующего клапана, управляя тепловым потоком отопительного прибора и обеспечивая потребление тепловой энергии в соответствии с потребностью для поддержания теплового комфорта.

Наилучшими условиями, с точки зрения регулирования, но не санитарно-гигиенической, было бы увеличение перепада температуры в системе отопления. Компромисса достигают только в двухтрубных системах отопления с перепадом температур примерно в 15...25 °С.

Подобное искривление имеет характеристика теплового потока греющего пола при температуре теплоносителя на входе, равной 46 °С, что показано на рис. 5.2. Так, кривизна характеристики греющего пола в диапазоне рабочих перепадов температур (3...11 °С) соответствует кривизне характеристики отопительного прибора двухтрубной системы отопления (10...25 °С). Следовательно, эти системы примерно одинаково поддаются регулированию.

Некоторое изменение кривизны характеристики теплообменного прибора вносит способ его регулирования, что показано на характеристике теплообменника на рис. 5.3. При качественном регулировании (изменением температуры подаваемого теплоносителя) характеристика теплообменника более пологая, чем при количественном регулировании (изменением расхода теплоносителя). Область разброса характеристик на рисунке является функцией разности температур между теплообменивающимися средами.

Таким образом, большинство теплообменных приборов имеют нелинейную зависимость Q/QN от G/GN. Это усложняет процесс регулирования теплового потока. Так, при увеличении относительного расхода теплоносителя с 0 до 20 % относительный тепловой поток возрастает с 0 до 80 % (суммарный диапазон по графикам на рис. 5.1...5.3). Следовательно, теплообменные приборы весьма чувствительны при регулировании малыми расходами теплоносителя, а при расходах, близких к номинальному (расчетному) значению и выше, их тепловой поток существенно не изменяется.

1.2.3 Идеальное регулирование теплообменного прибора

Стабильное управление теплообменным прибором получают при линейной зависимости его теплового потока от хода штока регулирующего клапана. С этой целью рассматривают идеальную совместную работу

теплообменного прибора и регулирующего клапана. Ее суть заключается в том, что расходная характеристика клапана должна быть зеркальным отображением характеристики теплообменного прибора. Для этого необходимо обеспечить 10 % увеличение относительного расхода G/GN на клапане при относительном подъеме штока h/h100 на 50 %. Тогда относительный рост теплового потока Q/QN составит 50 % при открывании клапана h/h100 на 50 % (рис. 5.4), т. е. достигнуто линейное регулирование.

Рассмотренное управление теплообменным прибором является идеализированным, к которому следует стремиться. Особенно важно это при использовании регуляторов теплового потока (температуры) прямого действия, поскольку между датчиком температуры и положением штока клапана установлена жесткая связь. Важным это является и для регуляторов непрямого действия. В обоих вариантах улучшается реакция регулирующего клапана на изменение температуры, что повышает в итоге тепловой комфорт в помещении и экономит энергоресурсы.

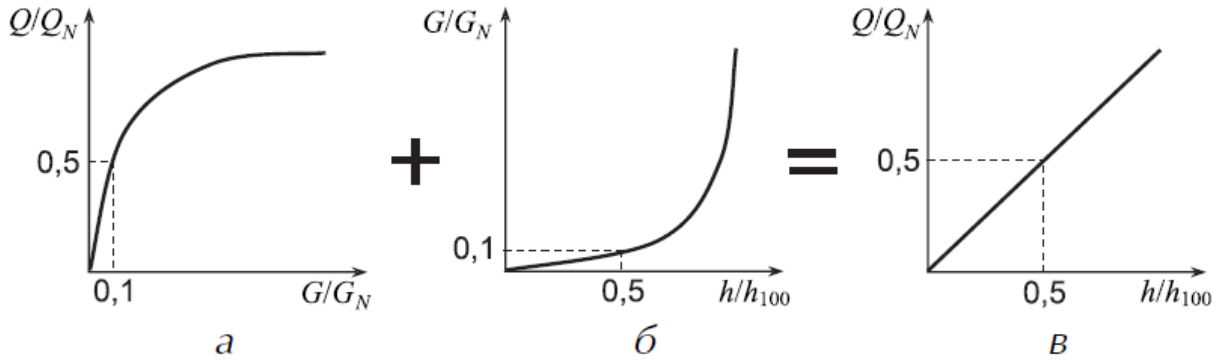


Рис. 5.4. Регулирование теплообменного прибора: а - характеристика теплообменного прибора; б - расходная характеристика регулирующего клапана; в - идеальная характеристика регулирования теплообменного прибора.

Рассмотренные закономерности регулирования относятся к отопи тельным приборам системы отопления, теплообменникам системы отопления и горячего водоснабжения, калориферам системы вентиляции. Они справедливы также и для тех систем отопления, которые не имеют терморегуляторов у отопительных приборов.

Линейное управление тепловым потоком теплообменного прибора – идеальный закон регулирования, к которому следует стремиться при проектировании водяных инженерных систем здания.

Выбор вида расходной характеристики клапана зависит от вида характеристики объекта регулирования.

1.2.4 Идеальное регулирование процесса

При подборе регулятора теплового потока, устанавливаемого перед узлом смешивания в тепловом пункте, следует обеспечить адекватную реакцию регулирующего клапана на изменение температуры теплоносителя. Для этого необходимо, чтобы клапан пропускал необходимое количество сетевой воды.

Расход сетевой воды и температура теплоносителя, подаваемого в систему отопления, линейно зависят от коэффициента смешивания, и, следовательно, линейно взаимосвязаны между собой. Поскольку тепловой поток на отопление, регулируемый по наружному воздуху и температурному графику, также линейно зависит от температуры теплоносителя в системе отопления, то расход теплоносителя, проходящий через регулирующий клапан, должен изменяться линейно. Итоговый график идеального регулирования смесеобразования теплоносителя представлен на рис. 5.5, где t/tr характеризует отношение текущего значения температуры теплоносителя, подаваемого в систему отопления, к расчетному.

В системе горячего водоснабжения регулируемым процессом является водоразбор потребителем. Этому процессу лишь в последнее время стали уделять внимание, особенно в высотных зданиях, где при незначительном открывании водоразборного крана истекает вода со значительным расходом и дальнейшее открытие крана не приводит к изменению расхода. Кроме того, при использовании смесителей наблюдаются колебания температуры смеси, вызываемые изменением давления в системе холодного и горячего водоснабжения.

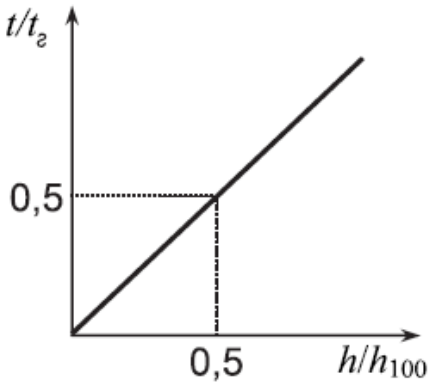


Рис. Идеальное регулирование смесеобразования

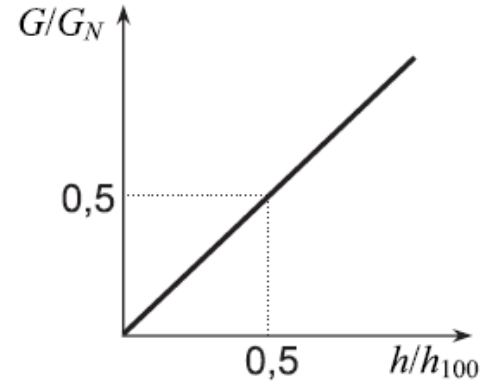


Рис. Идеальное регулирование водоразбора

Идеальным регулированием процесса водоразбора является обеспечение линейной зависимости между относительным ходом штока водоразборного крана h/h100 (либо относительным открытием проходного сечения) и относительным водоразбором G/GN (рис. 5.6).

Линейное управление процессами смесеобразования и водоразбора – идеальный закон регулирования, к которому следует стремиться при проектировании водяных инженерных систем здания.

Тема 3 «Автоматизация систем теплопотребления». Принципы управления тепловым режимом здания. Индивидуальное регулирование теплового режима отапливаемого помещения. Ручное и автоматическое регулирование. Регулирование давления в системе отопления.

1.3.1 Принципы и схемы управления тепловым режимом здания

Системы отопления являются основными потребителями теплоты, поэтому к вопросу автоматизации систем отопления необходимо подходить комплексно с учетом функционирования остальных систем теплоснабжения. В практике автоматизации систем отопления различают различные подходы, связанные с типом источника тепла (центральное или индивидуальное отопление), количеством ступеней регулирования теплового комфорта, типом используемого оборудования и т.д.

Существуют два основных способа управления тепловым режимом зданий: пассивный — совершенствование строительных характеристик зданий, инженерного оборудования и архитектурно-планировочных структур, а также активный — воздействие на инженерное оборудования зданий, в том числе автоматическое. К числу пассивных способов снижения расхода теплоты следует отнести: оптимизацию теплозащиты ограждений, снижение инфильтрации и теплопотерь через светопрозрачные ограждения, рациональную планировку жилых и общественных зданий по высоте и в плане с использованием блоков помещений равной температуры, улучшение планировочных решении застройки и т.п. Мероприятия по автоматизации тепловых режимов зданий необходимо рассматривать как по отношению к новым, так и к реконструируемым фондам. В последнем случае решения могут быть хотя и вынужденными, но более рентабельными. Поэтому при разработке проектов автоматизации нужно обязательно учитывать сложность городских инфраструктур. Все это лишний раз подтверждает необходимость решения вопросов оптимального теплоснабжения системно, с уделением большого внимания физическим характеристикам объектов, т.к. их разнообразие, сложность тепло- и массообменных процессов, назначение, насыщенность системами инженерного оборудования во многом определяют эффект автоматизации.

Любые методы, способы и принципы управления должны быть направлены на обеспечение требуемого микроклимата в помещениях. Однако реализация этой главной задачи осуществляется разными системами автоматизации по-разному. Так, например, автоматизация МТП обеспечивает некоторую среднюю температуру здания и тем самым «коллективный комфорт», а индивидуальное управление – соответственно индивидуальный. При этом экономия теплоты для этих случаев может достигать 12%. В случае

централизованного управления в МТП автоматизируется отпуск теплоты (в том числе, может быть, и на систему ГВС), при индивидуальном же управляют температурным режимом в помещении.

В настоящее время прослеживается тенденция использования индивидуальных котлов и крышных котельных, работающих на газовом топливе. С одной стороны, это позволяет достичь максимального комфорта в теплоснабжении отдельных потребителей, с другой – возникает необходимость автоматизации газового оборудования.

Автоматизация тепловых режимов основана на отмеченных выше четырех принципах управления: по возмущению; по отклонению; комбинированном и программном с использованием двухпозиционного, П- , ПИ- и ПИД- алгоритмов управления, используемых как в локальных средствах регулирования, так и в системах управления, построенных на базе микропроцессорной техники.

Современные средства автоматизации достаточно рентабельны, т.к. позволяют получить в целом экономию теплоты до 40%: за счет регулирования температуры воздуха в помещениях – до 15%; использования теплоты бытовых тепловыделений – до 8%; использования дежурных режимов отопления (снижение ночной температуры в административных зданиях, школах и т.д.) – до 12%; за счет оптимизации режимов отпуска теплоты – до 5%.

1.3.2 Индивидуальное регулирование теплового режима отапливаемого помещения

Автоматизация водяных систем отопления. Централизованное теплоснабжение

Автоматизацию систем централизованного отопления целесообразно рассмотреть применительно к МТП, т.к. они являются обязательным элементом в общей структуре системы теплоснабжения.

В общем случае, при отпуске тепла с МТП, температура воздуха внутри помещений является функцией нескольких переменных $t_в = f(t_н, t_р, v, I, q, \varphi, G_т, t_т.)$, причем каждый из аргументов может быть связан с другим, например, $G_т, t_т = f(G_{гв}, t_{гв})$ и т.д. Здесь $t_т$, $t_{гв}$, $t_р$ – соответственно температуры теплоносителя, горячего водоснабжения, радиационная; v – скорость ветра; I- интенсивность инсоляции; q – бытовые тепловыделения; φ – влажность воздуха; GT, Gгв- расходы теплоносителя.

Таким образом, для получения оптимального качества управления МТП необходимо измерить все возмущения или точно знать закон их изменения либо измерить отклонение $t_в$ во всех помещениях. Очевидно, что оба эти варианта относятся к разряду технически сложно осуществимых.

Опыт эксплуатации и исследования автоматизированных систем

отопления выявили основные методы управления с соответствующим формированием исходного сигнала о поведении объекта управления:

- регулирование по отклонению температуры в представительных (базовых, контрольных) помещениях, суммарный сигнал о тепловом состоянии которых с известной погрешностью соответствует нормативной температуре в любом из них;
- управление по возмущениям, из которых выбираются наружная температура, температуры (или разность температур) теплоносителя, инсоляции, скорость ветра и его направление, и другие, например температура прямого и обратного теплоносителей с коррекцией по температуре воздуха, измеренной в трех помещениях;
- комбинированное управление с измерением наружной температуры и суммарной температуры во всех помещениях, а также дополнительными коррекциями по температуре подающего теплоносителя и внешним воздействиям;
- управление с помощью физической модели здания с искусственным подогревом, в котором поддерживается некоторая температура, задаваемая моделью;
- управление программным отпуском теплоты — автоматическое выключение отопления на ночь, праздничные дни, периодическое отопление;
- управление по данным метеослужбы с помощью диспетчера;
- оптимальный отпуск теплоты на основе применения многофункциональных регуляторов, с помощью ЭВМ и микропроцессоров.

Управляющие воздействия могут быть приложены к дросселирующим регулирующим органам (клапаны, задвижки, поворотные заслонки), а также к управляемым насосам и элеваторам.

Традиционный принцип управления, применяемый на МТП, управление по возмущению, когда используется регулятор расхода подающего теплоносителя в зависимости от соотношения температур горячей воды и наружного воздуха, схемы которого приведены на рис. 4.3. Эти схемы позволяют увеличить коэффициент смешения элеватора по мере снижения расхода сетевой воды.

Помимо применения принципа управления по возмущению на МТП возможно использовать принцип по отклонению температуры воздуха в контрольных (представительных) помещениях здания. Функциональная схема автоматизации, соответствующая этому принципу представлена на рис. 4.4.

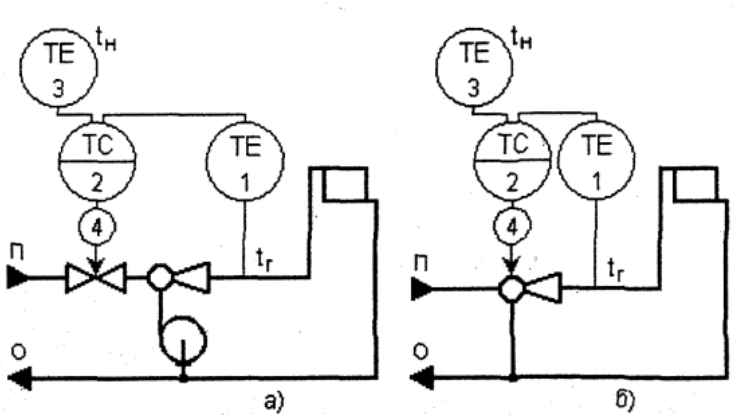


Рис. Схема автоматизации местного отпуска теплоты на отопление:

а- совместная работа элеватора и насоса; б- элеватор с регулируемым соплом; 1,3 – датчики температуры горячей воды и температуры наружного воздуха, соответственно; 2 – регуляторы температуры; 4 – исполнительные механизмы.

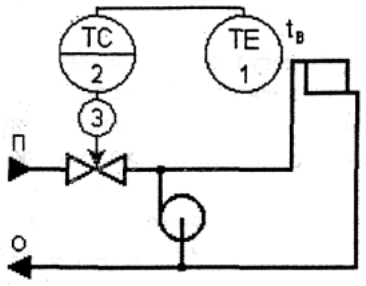


Рис. Схема автоматизации МТП по отклонению температуры в здании:

1- датчик температуры в помещении; 2 – регулятор температуры; 3- исполнительный механизм.

В настоящее время при автоматизации МТП широко используются регулируемые электронные элеваторы, например, «Электроника Р-1М», схема которого представлена на рис. 4.5.

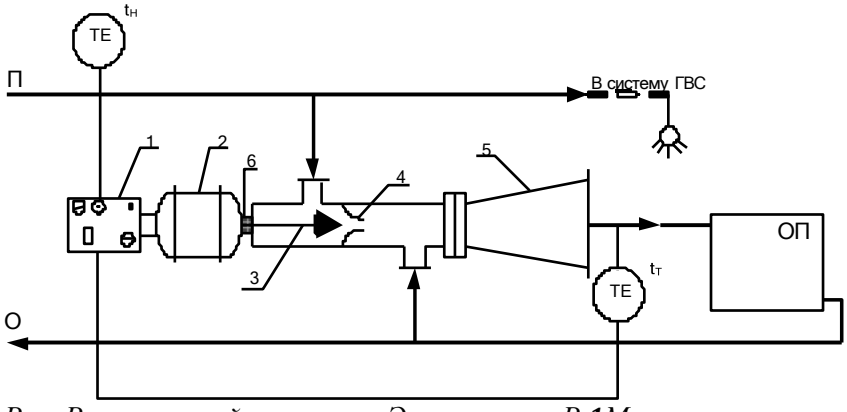


Рис. Регулируемый элеватор «Электроника Р-1М»

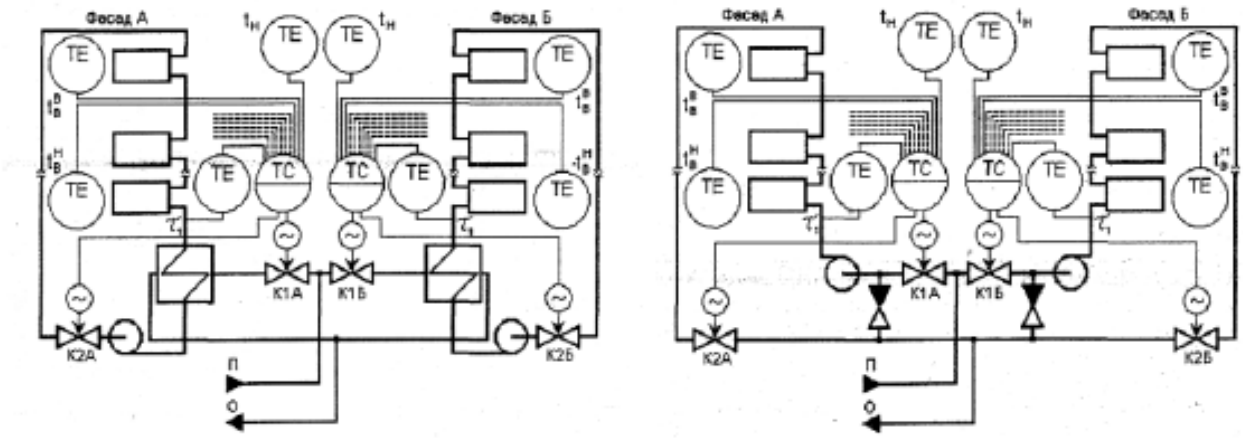
Этот элеватор состоит из электронного блока *1,* формирующего ПИ - алгоритм регулирования, электрического исполнительного механизма 2, уплотнителя 6 и собственно элеватора 5, который имеет внутри сопла 4 регулирующий клапан (иглу) 3, механически связанный с исполнительным

механизмом 2.

Регулирование элеватором осуществляется с точностью ±2° за счет изменения положения иглы и соответственно коэффициента смешения в зависимости от температурного графика, форма которого определяется настройкой и суммированием сигналов от датчиков температуры наружного воздуха tн и смешанной воды tт.

Применение регулируемого элеватора дает возможность экономить около 10% годового расхода теплоты на отопление. Выпускаются элеваторы с диаметром сопла от 6 до 18 мм (через 2 мм) и теплопроизводительностью от 0,2 до 1,07 МВт при потребляемой мощности 12 Вт и массе от 26 до 50 кг.

Стремление приблизить управляющее воздействие к индивидуальному потребителю привело к появлению позонного отопления и, как следствие, разновидности местного — зонного управления, схема которого приведена на рис. 4.6 – а, б.



а) б)

Рис. Схема пофасадного регулирования отпуска теплоты на отопление:
а- зависимое; б- независимое подключение системы отопления к тепловой сети.

На данных схемах представлены варианты автоматизации МТП со специализированными электронными регуляторами типа Т48-3 для случаев независимого и зависимого присоединения системы отопления к тепловой сети. В этом случае главным образом учитывается влияние ориентации зданий и этажности с соответствующими импульсами по возмущению.

Современные регуляторы, которые наилучшим образом могут использоваться, при автоматизации МТП обладают многофункциональностью и оборудуются оптимизаторами экономического режима. Конструктивно они выполняются на базе микропроцессорной техники. Примером такого регулятора может служить многофункциональный регулятор «Aquatrol», разработанный австрийской фирмой «Honeywell». Структурная схема автоматизации МТП при помощи

системы « Aquatrol» показана на рис. 4.7.

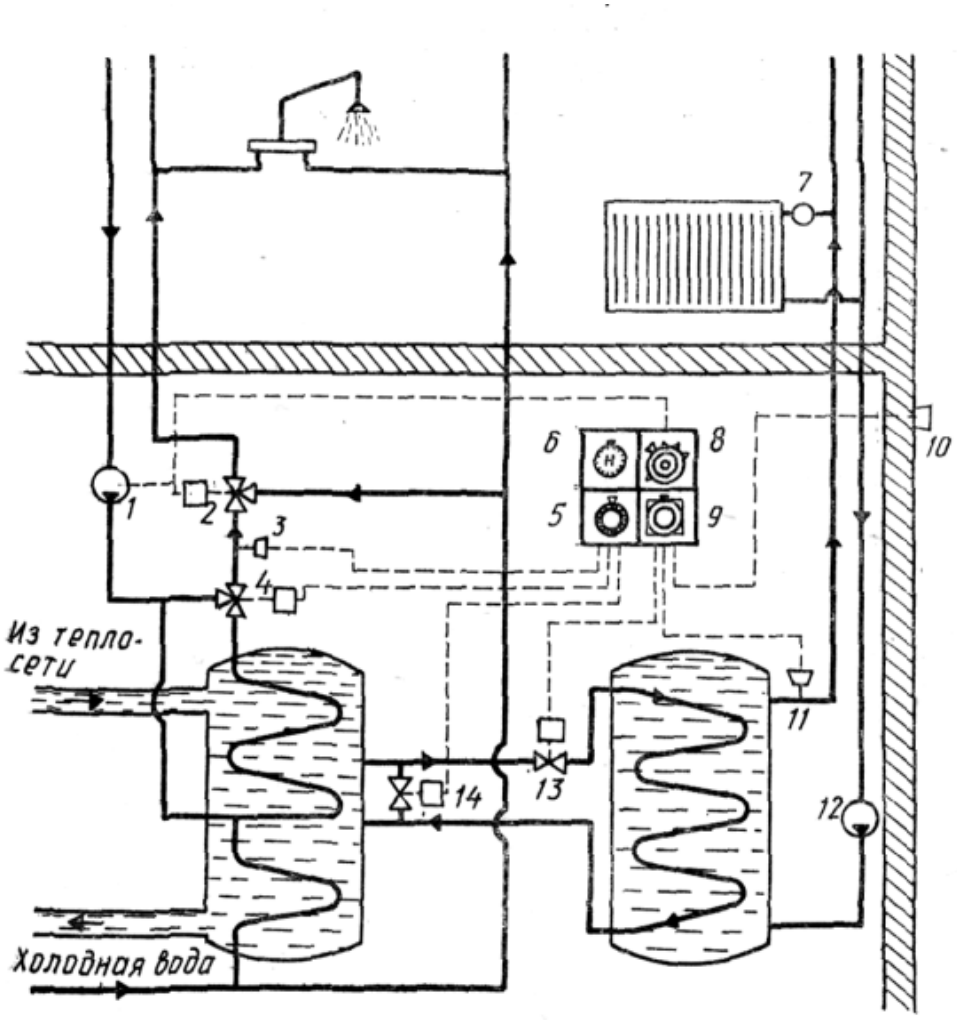


Рис. Применение регулятора «Aquatrol» при автоматизации МТП

В приведенной схеме электронный регулятор имеет четыре блока: централизованного управления 6, управления горячим водоснабжением 5, отоплением 9 и программирования 8. Блок горячего водоснабжения может быть заменен блоком управления вентиляцией. В схеме управления датчики температуры 3, 10 я 11 - термисторы, 1 и 12 - циркуляционные насосы, 2, 4, 13 и 14 - регулирующие клапаны с электромоторным приводом, 7- автоматический термос тат. Блоки регуляторов формируют ПИ-, П- и И-алгоритмы управления, реле времени позволяет выключать системы на ночь и в любое другое время, может обеспечивать периодическое отопление.

В системах централизованного отопления индивидуальное регулирование является последней ступенью формирования микроклимата в помещении.

При индивидуальном регулировании микроклимата в помещениях обычно воздействуют на подвод теплоты (изменение мощности

нагревательных приборов) и на отвод – проветривание, увлажнение и охлаждение, что осуществляется системами кондиционирования воздуха (СКВ).

Индивидуальное автоматическое регулирование (ИАР) позволяет учесть возмущающие воздействия, не учитываемые при централизованном, групповом и местном управлении, и обеспечить надлежащий тепловой режим помещений, только в сторону уменьшения температуры, за счет использования свободных теплопоступлений. Однако есть возможность и повышения температуры, но при наличии запаса тепловой мощности системы отопления или при помощи доводчиков СКВ.

В ИАР главным образом получили распространение манометрические терморегуляторы прямого действия, и непрямого - электрические (изредка пневматические).

Сложилась определенная модель терморегулятора (термостата) прямого действия, который с небольшими видоизменениями выпускают многие зарубежные фирмы, такие как «Danfoss» (Дания), «ТА» (Швеция), «MNG» (Германия) и ряд других. Эти терморегуляторы, как правило, управляют теплоотдачей отдельных отопительных приборов, хотя встречаются схемы группового регулирования.

На рис. 4.8 показан разрез термостата «ТА», а на рис. 4.9 монтаж модификаций регулятора с различным исполнением чувствительного элемента термобаллона, заполненного термочувствительной жидкостью или массой.

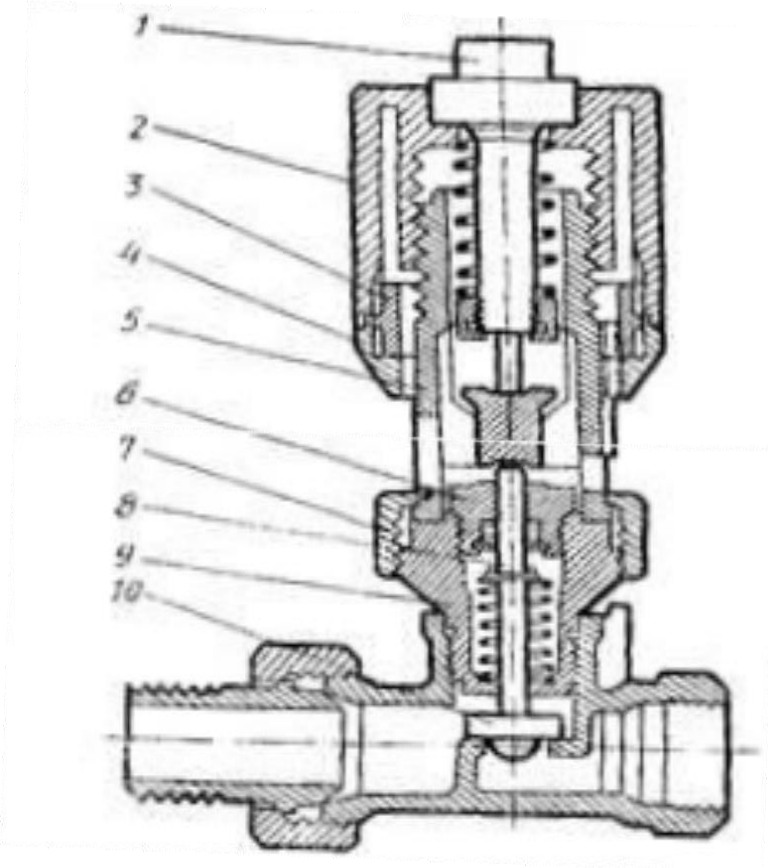


Рис. Термостат RTV

На разрезе показаны: чувствительный элемент 1, задающий маховик 2, стопорное кольцо 3, кольцо с делениями шкалы 4, изолятор 5, накидная гайка 7, сальник с кольцевым уплотнением 6, ш ток и клапан 8 и 10, корпус 9. Принцип действия термостата - общепринятый. С увеличением температуры воздуха датчик из упругого материала деформируется и прикрывает клапан. Задающее воздействие на регулятор осуществляется поворотом маховика, который изменяет усилие сжатия задающей пружины.

Как видно из рис. 4.9-а, датчик и задающее устройство термостата могут устанавливаться отдельно от корпуса термостата или же иметь единое конструктивное исполнение (рис. 4.9-б).

1.3.3 Ручное и автоматическое регулирование.

Индивидуальное теплоснабжение

В настоящее время прослеживается тенденция использования микрокотлов в индивидуальных домах, а также малых и крышных котелен в многоквартирных домах и административных зданиях для индивидуального теплоснабжения.

Отличительной особенностью таких систем от систем

централизованного теплоснабжения является наличие двух самостоятельных систем регулирования

САР ТГУ и САР отоплением и горячим водоснабжением.

Наиболее часто встречаются теплогенерирующие установки на газовом топливе, для которых важнейшей частью автоматического оборудования котельных установок составляет технологическая защита, или автоматика безопасности. В ее обязательные функции входит немедленное прекращение подачи газа к горелкам (отсечка газа) в следующих случаях: погасания факела в топке, повышения температуры теплоносителя свыше 95 ^{o}C или нарушения циркуляции в системе отопления, падения разрежения в топке до 30 - 50 Па, аварийного повышения или понижения давления газа, загазованности помещений котельной.

Автоматика ТГУ, как правило, является стабилизирующей, снабжена рабочим терморегулятором горячей воды, управляющим расходом топлива и воздуха (в случае принудительной подачи воздуха в топку). САР ТГУ, работающие на жидком и газообразном топливе, обеспечивают наиболее простой двух- или трехпозиционный режим воздействия на электромагнитные топливные клапаны для поддержания требуемой температуры горячей воды, хотя более надежная работа котельного агрегата имеет место при непрерывном регулировании. Помимо терморегулятора, ТГУ оборудуется средствами технологической защиты от перегрева воды, а также программным устройством для возможности периодической работы.

Во второй САР отоплением и горячим водоснабжением используются известные принципы регулирования отопительных систем с функционально различными регуляторами. Применяются также программные устройства с суточной, недельной программами, с коррекцией по температуре наружного воздуха, по температуре в помещениях, обратной воды и т. п.

В качестве средств автоматизации для ТГУ предпочтение отдают регуляторам прямого действия в сочетании с электронной автоматикой.

На схеме, приведенной на рис. 4.11 представлен вариант автоматизации небольшого двухконтурного водогрейного котла на газовом топливе.

В соответствии с этой схемой газовая автоматика состоит из регулятора давления газа прямого действия PC (поз.1) и системы защитной блокировки FSA (поз.4). Система блокировки прекращающей подачу газа в котел с помощью электромагнитного клапана в случае уменьшения давления разряжения в топке и погасании пламени по сигналам с датчиков разрежения PE и пламени QE, поз.2 и поз.3, соответственно. При срабатывании системы блокировки на блоке управления котлом включается сигнальная лампа.

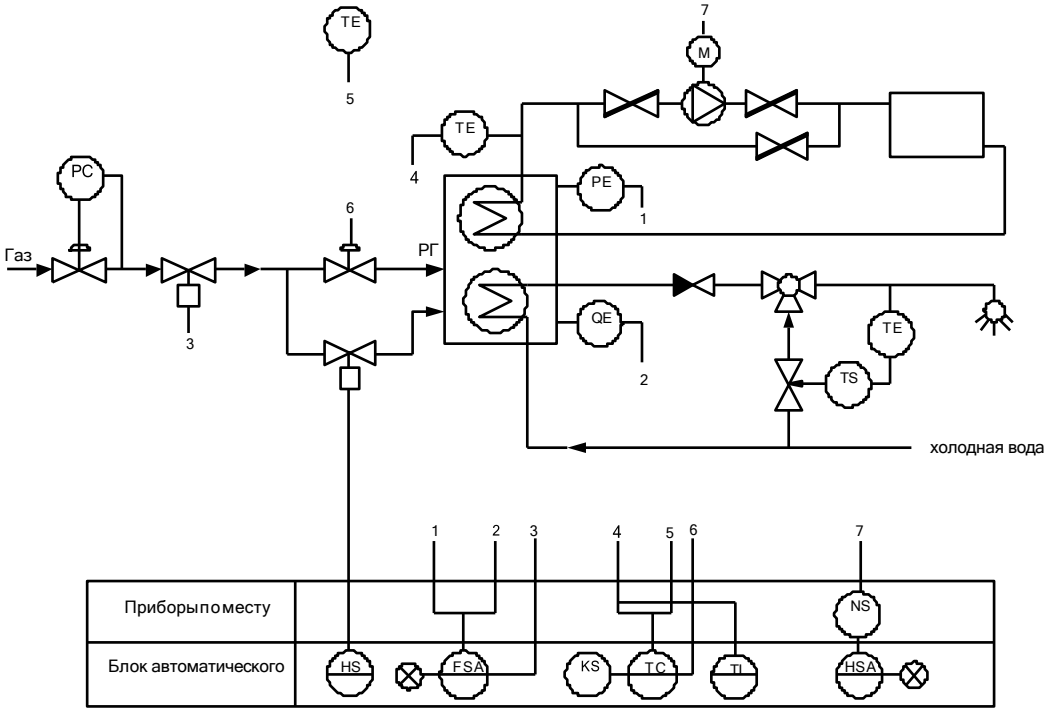


Рис. Функциональная схема автоматизации двухконтурного водогрейного котла

Розжиг котла осуществляется вручную с помощью кнопки HS (поз.13), включающей клапан газа на запальную горелку ЗГ.

В контуре отопления температура горячей воды регулируется при помощи регулятора температуры ТС (поз.7), получающей сигнал от термопары ТЕ (поз.6), работающего с коррекцией по температуре наружного воздуха, информация о которой поступает в регулятор от датчика ТЕ (поз.5). Управляющее воздействие регулятора температуры подается на клапан газа, поступающего на основную рабочую горелку РГ. К регулятору температуры может быть подключено программное устройство KS (поз.14), обеспечивающее работу регулятора по требуемым температурным графикам. Циркуляция воды в системе отопления осуществляется циркуляционным насосом, включаемого с пульта управления кнопкой HS (поз.12) снабженной сигнальной лампой. В случае выключения циркуляционного насоса горячая вода поступает в систему отопления по байпасной линии за счет естественной циркуляции. На пульт управления котлом выведена информация о температуре горячей воды в системе отопления с помощью индикатора температуры TI (поз.8).

Второй технологический контур котла предназначен для горячего водоснабжения. Температура горячей воды в точке разбора регулируется за счет подмешивания холодной воды в смесителе путем включения – выключения клапана подачи, приводимого в действие регулятором TS (поз.10) по сигналу от датчика температуры ТЕ (поз.9).

Автоматизация систем горячего водоснабжения

Качественную автоматизацию систем отопления невозможно осуществить без учета и регулирования отпуска тепла на систему горячего водоснабжения. При этом основная задача автоматического регулирования систем горячего водоснабжения - поддержание постоянной заданной температуры в местах её разбора. В идеальном случае это можно осуществить с помощью индивидуальных регуляторов температуры в каждом месте разбора горячей воды. Однако такое решение существенно усложнит эксплуатацию систем горячего водоснабжения и будет малоэффективным. В связи с этим индивидуальные регуляторы в местах разбора горячей воды устанавливают лишь в особых случаях.

Как правило, автоматически поддерживают постоянную температуру воды (60°С) на узлах горячего водоснабжения в ЦТП. Однако постоянство температуры воды в местах разбора не гарантируется из-за остывания воды в разводящих трубопроводах. Указанный недостаток в значительной мере устраняется применением циркуляционных линий с насосами.

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

При закрытой системе ГВС, когда на вводах горячего водоснабжения устанавливают водоводяные подогреватели, широко применяется схема регулирования температуры нагреваемой воды путём изменения количества сетевой воды (рис. 4.12-а, б, в), проходящей через подогреватель. Помимо этого, существует схема разделения потока сетевой воды трёхходовым регулирующим клапаном на два - через подогреватель и по обводной линии (рис. 4.12-г).

При таком способе регулирования обеспечивается примерно постоянный расход сетевой воды, что частично или полностью исключает гидравлическое разрегулирование тепловой сети. Однако постоянство расхода сетевой воды приводит к завышению температуры воды в обратном трубопроводе тепловой сети в период малых нагрузок горячего водоснабжения.

При двухступенчатой (последовательной или смешанной) схеме включения подогревателей горячего водоснабжения регулирующей ступенью является вторая по ходу движения нагреваемой воды.

При открытой системе теплоснабжения на узлах горячего

водоснабжения отсутствуют водоводяные подогреватели; горячая вода поступает к потребителям непосредственно из тепловой сети. Температура воды, поступающей в систему горячего водоснабжения, регулируется путем смешения потоков воды из подающего и обратного сетевого трубопровода.

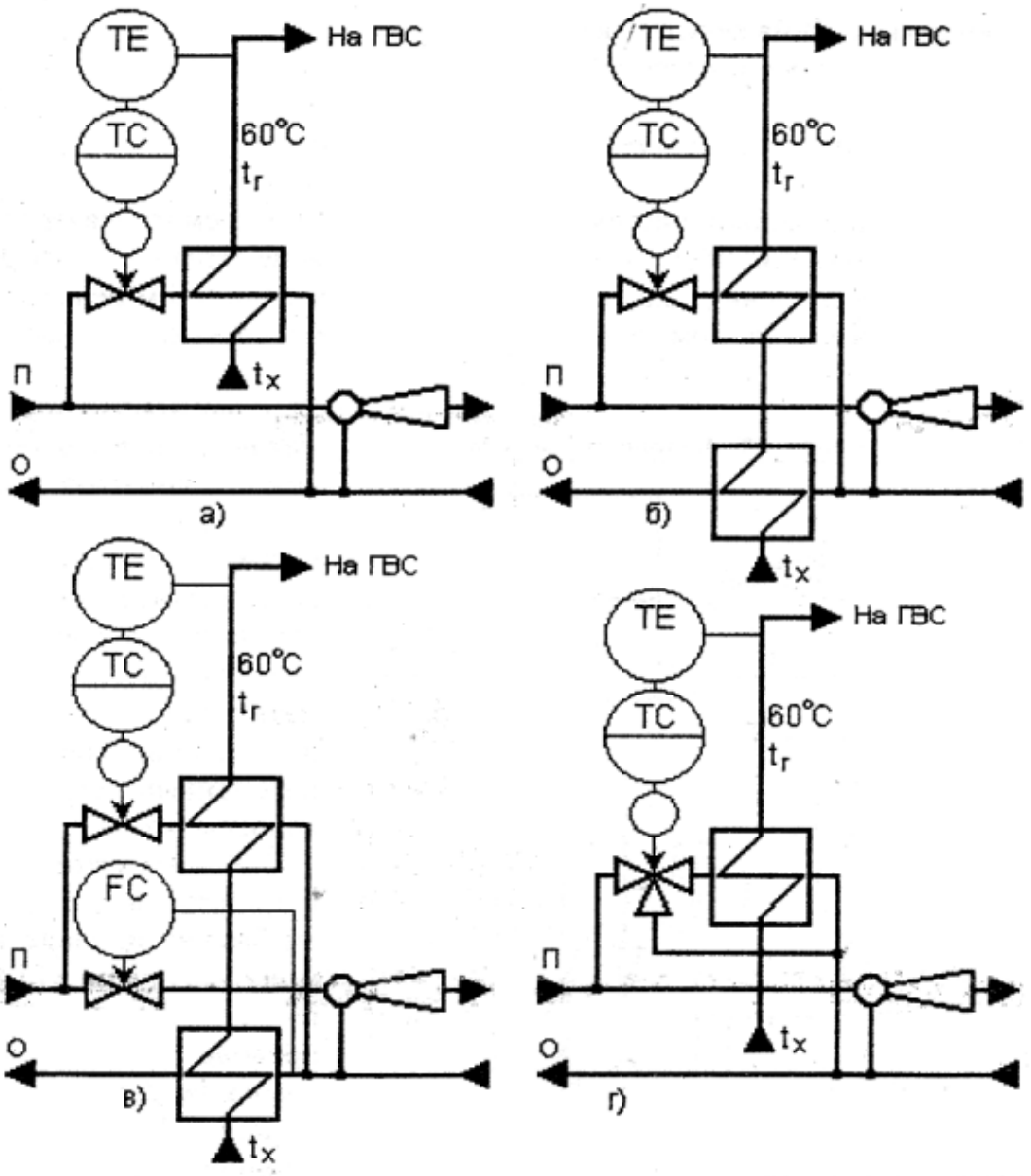


Рис. 4.12 САР температуры горячей воды при закрытой системе ГВС:
а- параллельная; б- смешанная двухступенчатая; двухступенчатая последовательная; г- с трехходовым регулирующим клапаном.

В этом случае получили распространение схемы с установкой регулирующего клапана на подающем трубопроводе и обратного клапана на обратном трубопроводе (рис. 4.13-а) и с применением трёхходового регулирующего клапана смешения (рис. 4.13-б).

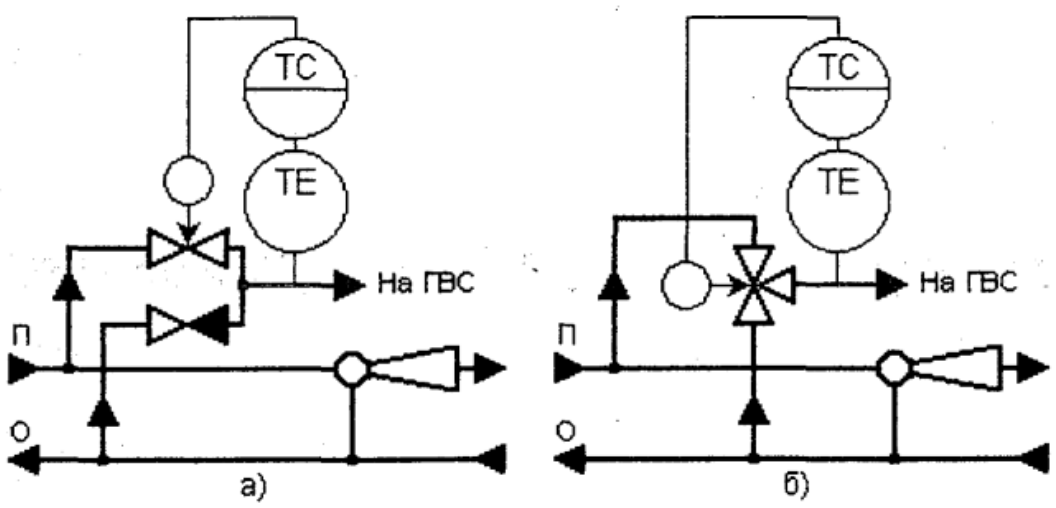


Рис. 4.13 – САР температуры горячей воды в открытой системе ГВС:
а- с двухходовым регулирующим и обратным клапанами; б- с трехходовым регулирующим клапаном смешения.

1.3.4 Регулирование давления в системе отопления.

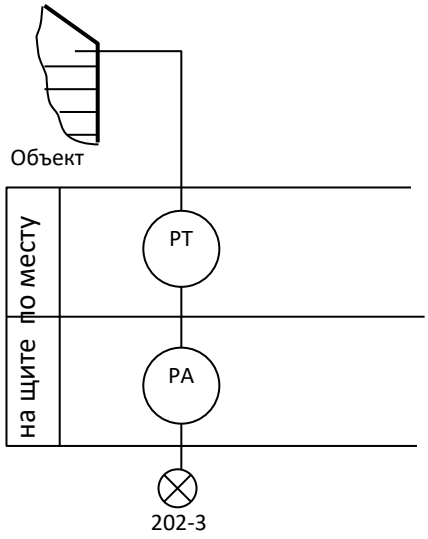


Рис. Сигнализация давления

202-1 Пневматический первичный преобразователь давления, предел измерения 0… 1,6 МПа, выходной сигнал 0,02…0,1 МПа, марка МС-П-2 (манометр сильфонный с пневмовыходом)

202-2 Электроконтактный манометр с сигнальной лампой ЭКМ-1

202-3 Лампа сигнальная.

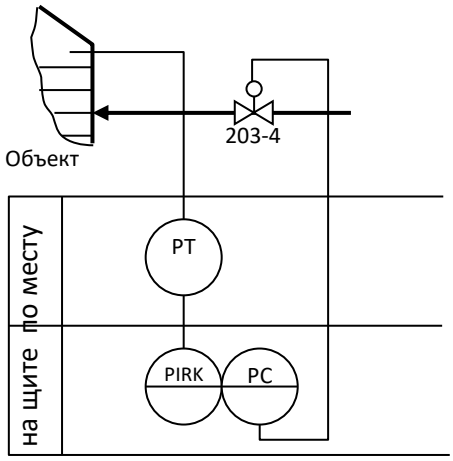


Рис. Индикация, регистрация и регулирование давления (PIRC)

203-1 Пневматический первичный преобразователь давления, предел измерения 0… 1,6 МПа, выходной сигнал 0,02…0,1 МПа, марка МС-П-2 (манометр сильфонный с пневмовыходом)

203-2 пневматический вторичный прибор на 3 параметра со станцией управления, марка ПВ 10.1Э (с электроприводом диаграммной ленты)

203-3 Пневматический ПИ-регулятор ПР 3.31

203-4 Регулирующий клапан для неагрессивных сред, корпус из чугуна, предельная температура T = 300 °C, давление Ру = 1,6 МПа, условный диаметр Dy = 100 мм, тип 25нч32нж.

Тема 4 «Регулирующие клапаны». Типы клапанов, применяемых в системах теплоснабжения и теплопотребления. Пропускная способность клапана. Регулируемый участок. Расходная характеристика 2-х ходового клапана. Обеспечение идеальных условий регулирования. Кавитационная и шумовая характеристики регулирующих клапанов.

1.4.1 Типы клапанов, применяемых в системах теплоснабжения и теплопотребления

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

Регулирующие органы для многих объектов систем ТГВ можно разделить на три группы:

Регулирующие органы дроссельного типа, изменяющие расход среды за счёт изменения скорости и площади сечения потока при прохождении его через дросселирующее устройство, гидравлическое сопротивление которого является переменной величиной (клапаны, заслонки и шиберы).

Регулирующие органы объёмного типа, изменяющие расход среды за счёт изменения её объёма (например, дозирующие устройства).

Регулирующие органы скоростного типа, изменяющие производительность регулирующего устройства за счёт скорости его вращения. К регулирующим органам этого типа относятся устройства регулирования частоты вращения первичных двигателей (паровых или электрических насосов, вентиляторов, дымососов и др.).

Действие регулирующего органа определяется статическими характеристиками: диапазоном регулирования и рабочей расходной характеристикой.

При разработке, выборе и отладке регулирующих органов стремятся получить достаточный диапазон регулирования для обеспечения возможности управления процессом при всех режимах и нагрузках агрегата и линейную рабочую характеристику в пределах этого диапазона.

Дроссельные регулирующие клапаны служат для изменения расходов жидкости, пара или газа, транспортируемых по трубопроводам.

Существует несколько конструктивных разновидностей клапанов, различающихся формами плунжера 1 и седла 2 (см. рис. 2.13).

В игольчатых и тарельчатых клапанах запирающая и дросселирующая

поверхности выполняются плоскими или коническими. Тарельчатые клапаны изнашиваются быстрее и их рабочие характеристики меняются, поэтому эти клапаны применяют как запорные органы или при двухпозиционном регулировании. Для точного регулирования расходов применяют игольчатые клапаны.

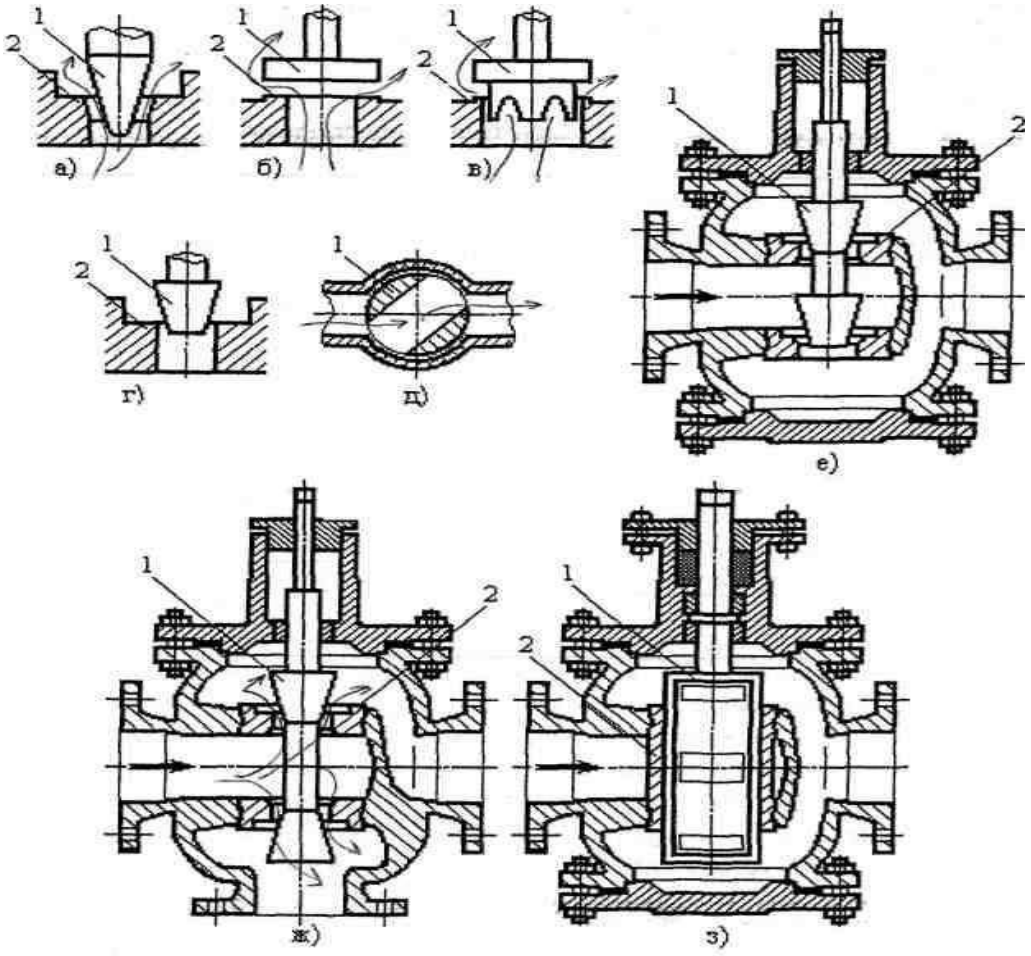


Рис 2.13 – Разновидности регулирующих органов

а - игольчатый; б - тарельчатый; в - золотниковый; г - плунжерный; д - шаровой: е- плунжерный двухседельный; ж - плунжерный трёхходовой;

з - золотниковый поворотный; 1 - плунжер; 2 - седло.

Форма рабочих поверхностей имеет большое значение для работы регулирующего органа. Она определяет характеристику регулирующего органа, т.е. зависимость расхода вещества через регулирующий орган от перемещения его затвора в рабочих условиях. У клапанов с гладкими рабочими поверхностями тарельчатого типа, как правило, характеристика линейная, т.е. пропускная способность клапана прямо пропорциональна ходу плунжера. У других клапанов характеристика может подчиняться математическим законам (каким-либо кривым - параболы, логарифмов и т.д.).

На рис.2.14 показан регулирующий орган, называемый **поворотной регулирующей заслонкой**. Заслонка представляет собой диск (для

трубопровода круглого сечения), устанавливаемый в поперечном сечении трубопровода.

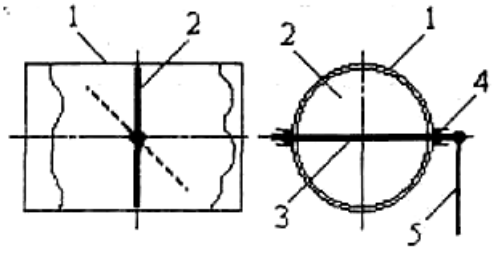


Рис. 2.14 – Поворотная заслонка
1- трубопровод;
2 - диск;
3 - ось;
4 - подшипник с сальниковым уплотнением;
5 –рычаг.

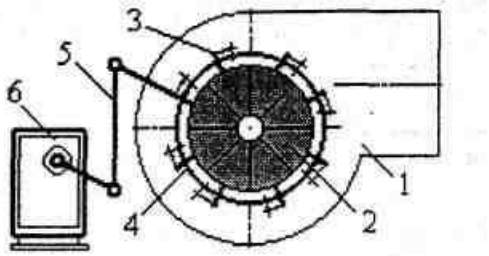


Рис. 2.15 – Направляющий аппарат вентилятора:
1 - улитка;
2 - лопасть направляющего аппарата;
3 - ось лопасти с серьгой;
4 - приводное кольцо;
5 - тяга;
6 - исполнительный механизм.

Диск может поворачиваться вокруг оси, которая выводится из трубопровода через сальниковые уплотнители и опирается на подшипники.

Поворотные заслонки устанавливают в газоходах и трубопроводах как круглого, так и прямоугольного сечения. Достоинства поворотных регулирующих заслонок: простота конструкции, высокая надежность в работе, разгруженность затвора (диска) от статических давлений, так как давления на обе половины заслонки уравновешиваются. Поэтому для них используют исполнительные механизмы небольшой мощности. Недостатком поворотной заслонки является невозможность обеспечения стопроцентного её закрывания, т.к. для свободного вращения заслонки между внутренней поверхностью трубопровода и заслонкой оставляется зазор, величина которого может достигать нескольких миллиметров.

Поворотные заслонки обычно применяются в качестве запорно-регулирующей арматуры при небольших статических давлениях среды (кроме сред, из которых могут выделяться твёрдые частицы).

Вентиляторы и дымососы, предназначенные для котельных агрегатов, выпускаются со специальным направляющим аппаратом, позволяющим регулировать производительность агрегата.

Направляющий аппарат (см. рис.2.15) представляет собой многолопастное дроссельное устройство, устанавливаемое непосредственно во всасывающем патрубке машины. Направляющий аппарат дросселирует и одновременно закручивает поток в сторону вращения ротора вентилятора.

Лопасти 2 направляющего аппарата, выполненные в виде секторов круга, укреплены каждая на своей оси 3. Оси имеют выход за обечайку всасывающего патрубка. На выходные концы осей жестко посажены серьги, укрепленные с другой стороны к приводному кольцу 4. При повороте кольца вокруг всасывающего патрубка серьги будут увлечены в сторону вращения кольца и повернут оси, на которых укреплены лопасти. Таким образом, лопасти могут быть поставлены параллельно оси потока, или поперёк потока.

Для автоматического регулирования производительности агрегата к приводному кольцу подсоединяется тяга 5 электрического исполнительного механизма 6.

К аппаратуре распределения энергии можно отнести рубильники, пакетные выключатели, кнопочные выключатели. Их используют как в силовых электрических цепях, так и в цепях управления.

К аппаратуре защиты относятся плавкие предохранители, автоматические воздушные выключатели, тепловые реле, реле напряжения и т.п.

Плавкий предохранитель - это устройство в основном однократного действия, которое размыкает электрическую цепь путём расплавления плавкой вставки, нагреваемой током. Этот аппарат служит для защиты участка цепи или электрических установок от разрушающего действия токов короткого замыкания или от длительных перегрузок. В настоящее время

изготовляется много разных по конструкции предохранителей, которые находят широкое применение в устройствах защиты.

Регулирующие клапаны

Клапаны относят к классу трубопроводной арматуры. Они отличаются способом перекрытия потока теплоносителя, заключающимся в возвратно-поступательном перемещении затвора вдоль оси потока теплоносителя в седле корпуса арматуры. В соответствии со стандартом по назначению различают арматуру: запорную (для перекрытия потока), регулирующую (для изменения расхода теплоносителя), распределительно-смесительную (для распределения потоков теплоносителя по направлениям или для смешивания потоков), предохранительную (для защиты элементов системы при отклонении параметров теплоносителя за рекомендуемые пределы), обратную (для автоматического предотвращения изменения направления теплоносителя).

Одно из главных отличий современной арматуры – это многофункциональность, т. е. предназначенность для выполнения нескольких функций. Такой арматурой является, например, запорно-регулирующая. Запорная арматура предназначена для перекрытия потока теплоносителя. Принимать запорную арматуру в качестве регулирующей не допускается. Это вызвано, прежде всего тем, что запорная арматура конструктивно не предназначена для таких задач: имеет низкую цикловую нагрузку (быстрое срабатывание при частом использовании) и создает резкий перепад давления теплоносителя при закрывании.

Регулирующая арматура предназначена для регулирования расхода теплоносителя. Независимо от конструктивного исполнения конечной целью ее подбора является обеспечение линейной зависимости между регулирующим воздействием и изменением регулируемого параметра.

Клапаны следует применять согласно их назначению.

1.4.2 Пропускная способность клапана

Основной гидравлической характеристикой запорно-регулирующей арматуры является коэффициент местного сопротивления ξ. Его определяют при протекании воды через клапан в режиме квадратичного сопротивления. Находят ξ экспериментально как отношение потерянного полного давления на клапане к динамическому давлению в его условном входном сечении. Кроме того, в коэффициент местного сопротивления клапана включено

сопротивление участков присоединительных трубопроводов, на которых происходит перестройка поля скорости воды. Эта особенность требует наличия в системе прямых участков трубопроводов перед клапаном и после него (рис. 6.1), что не всегда достижимо.

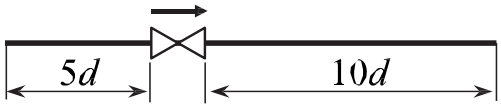


Рис. 6.1. Присоединение клапанов

При прямолинейных участках труб длиной меньше указанных соотношений, гидравлические характеристики арматуры будут отличаться от параметров, предоставляемых производителем в техническом описании. Рекомендуется, чтобы расстояние между элементами теплового узла, создающими местные сопротивления, было не меньше $10d$. При меньших соотношениях необходимо экспериментально определять общее сопротивление узла, состоящего из нескольких близко расположенных элементов. Арифметическое суммирование местных сопротивлений этих элементов, как часто делается на практике, не отвечает реальному гидравлическому сопротивлению узла. Это является одной из причин необходимости наладки системы и применения регулирующих клапанов.

К гидравлическим характеристикам клапанов относят также пропускную способность. Ее определяют как объемный расход воды в $м^3/ч$ с плотностью 1000 $кг/м^3$, проходящей через клапан при перепаде давления 10^5 Па (1 бар). Поэтому часто в каталогах и справочниках пренебрегают знаменателем единиц измерения и указывают только $м^3/ч$. Однако при этом теряется гидравлический смысл данного параметра.

Для определения местных потерь давления $\boldsymbol{\Delta P}$, Па, в клапанах преобразуют формулу Вейсбаха

$$\Delta P = \xi \frac{\rho v^2}{2} \qquad (6.1)$$

в уравнение (6.2), заменяя скорость воды отношением объемного расхода к площади условного проходного сечения и применяя единицы измерения [бар] для $\boldsymbol{\Delta P}$, –

$$\Delta P = \frac{1}{k_v^2} V^2 \qquad (6.2)$$

где ξ– коэффициент местного сопротивления; ρ– плотность воды, кг/м^3; υ– скорость движения воды, м/с; k_V – пропускная способность клапана, (м^3/ч)/бар^{0,5}; V – объемный расход воды, м^3/ч.

Сравнивая уравнения (6.1) и (6.2), определяем, что пропускная способность клапана k_V, (м^3/ч)/бар^{0,5} состоит из коэффициента местного сопротивления и площади входного сечения клапана, которую рассчитывают по условному диаметру входного сечения. Поэтому размерность k_V представляют иногда в м^2, что не в полной мере отражает гидравлическую суть данного параметра.

Параметр k_V, оцениваемый размерностью лишь м^3/ч, удобен в пользовании тем, что дает возможность ощутимого восприятия его пропускной способности при сравнении с другими клапанами. Для всех клапанов перепад давления при их испытании постоянен. Но он, как правило, не совпадает с перепадом давления в реальной системе. Поэтому при заказе и спецификации клапанов необходимо рассчитывать k_v по номинальным параметрам системы с учетом традиционно применяемой системы размерностей. Наиболее часто встречающиеся переводные формулы приведены в табл. 6.

Таблица 6.

Определение пропускной способности клапана k_V, (м^3/ч)/бар^{0,5}

ΔP, бар, V, м^3/ч	ΔP, кПа, V, л/с	ΔP, мм вод. ст., V, л/ч	ΔP, кПа, V, л/ч	ΔP, Па, G, кг/ч
$k_v = \frac{V}{\sqrt{\Delta P}}$	$k_v = 36\frac{V}{\sqrt{\Delta P}}$	$k_v = 0,1\frac{V}{\sqrt{\Delta P}}$	$k_v = 0,01\frac{V}{\sqrt{\Delta P}}$	$k_v = 0,316\frac{G}{\sqrt{\Delta P}}$

Следует обратить внимание на то, что параметр k_v может иметь иную индексацию, например, k_{VS}. В этом случае данный параметр определяет пропускную способность клапана в максимально открытом положении.

Параметр k_V является аналогом проводимости σ, (кг/ч)/Па^{0,5}. Под проводимостью подразумевают физическую величину, количественно характеризующую способность элемента гидравлической системы пропускать воду при наличии на нем перепада давления. По проводимости находят гидравлические потери не только клапана, но и системы в целом

$$\Delta P = \frac{1}{\sigma^2} G^2 = SG^2 \qquad (6.3)$$

где S – характеристика гидравлического сопротивления участка системы, Па/(кг/ч)^2,

$$S = A\left(\frac{\lambda}{d}l + \Sigma\xi\right) \quad (6.4)$$

где A – удельное динамическое давление на участке, Па/(кг/ч)^2,

$$A = 6{,}25/10^8\rho d^4 \quad (6.5)$$

В центральной Европе потери давления ΔP, бар, на участке трубопровода находят по аналогичным уравнениям. Отличие состоит в применяемых единицах измерения и в учете влияния на потери давления гидравлического режима течения в пристенной области трубопровода. Для упрощения расчетов это влияние выражают переменным показателем степени m.

$$\Delta P = CV^m \quad (6.6)$$

где C – характеристика сопротивления участка трубы, бар/(м^3/ч)^m.

Практические расчеты осуществляют по осредненному показателю степени. При использовании стальных труб принимают m = 1,9, медных – m = 1,8. Более точные значения указаны в стандартах, например, DIN 2440, DIN 2448. Значения показателя степени m в зависимости от материала и диаметра труб при известной скорости теплоносителя представлены в табл. 7.

Таблица 7.

Показатель степени m[a] для цилиндрических труб

Материал трубы	Диаметр трубы	Скорость теплоносителя, м/с					
		0,2	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0
Сталь	3/8''	1,804	1,861	1,910		1,947	1,961
	1/2''	1,804	1,868	1,910			
	1''	1,829	1,870	1,918			
	1 1/2''		1,879	1,919			
	65 мм		1,880	1,923		1,951	
	100 мм		1,896	1,920		1,949	1,964
	300 мм			1,933		1,953	1,966
Медь	10х1 мм	1,779	1,766	1,771	1,787	1,783	
	18х1мм	1,738	1,720	1,790	1,810		
	28х1,2 мм	1,801	1,811	1,862	1,802		
	54х2 мм		1,822	1,792	1,827	1,829	

Для обеспечения регулирования системы в заданных пределах необходимы правильный подбор и расчет клапана. Однако на практике зачастую регулирующие клапаны не рассчитывают, а подбирают по диаметру трубопровода, на котором их устанавливают. Это приводит к ухудшению чувствительности регулятора, к потере его регулирующей способности. Наиболее ярким примером являются водоразборные краны горячей или холодной воды, из которых при незначительном открытии выходит сильная струя воды. Дальнейшее их открытие не приводит к существенному увеличению. В результате – либо перерасход воды, либо психологическая неудовлетворенность потребителя.

Причиной плохой работы системы в целом или регуляторов, в частности, может быть неверный подбор клапанов – лишь по пропускной способности и без учета изменения динамических характеристик. Одним из основных факторов, влияющих на работу клапана в динамическом режиме работы системы, является его внешний авторитет.

Пропускная способность – основная гидравлическая характеристика клапана, которая учитывает его сопротивление, создаваемое проходу теплоносителя.

Подбор клапана по пропускной способности, расчетному перепаду давления и расчетному расходу теплоносителя пригоден лишь для определения типоразмера клапана и не отражает его регулировочную способность в системе.

1.4.3 Виды регулирующих клапанов

Существует несколько вариантов конструкции трёхходовых кранов, различающихся по параметрам.

По материалу корпуса:

- латунные;
- стальные;
- чугунные.

Диапазон регулировки находится в пределах температур горячего и остывшего потоков. Настройка производится подмешиванием к горячему теплоносителю остывшей обратки, выполняемым вручную или автоматически. Если полностью закрыт один канал, то в систему подаётся поток из другого, не смешанный ни с чем. Это свойство трёхходовых кранов удобно при установке на радиаторах, работающих от системы ЦО, если дальше на линии имеется ещё немало приборов потребления и нельзя перекрывать для них питание.

Трёхходовые клапаны, имеющие разные конструкции затворов (тип T или L), выполняют смешивание потоков немного по-разному, но общий принцип работы от этого не нарушается.

Принцип монтажа крана прост — надо соединить нужные трубопроводы и соответствующие патрубки крана. Однако, на практике нередко возникает масса проблем, происходящих от неопытности или неосведомлённости мастера. Необходимо разбираться в маркировке патрубков:

- A — прямой ход.
- B — байпас или перпендикулярный ход.
- AB — объединённый вход или выход.

Кроме того, надо учитывать конструкцию затвора. Если устройство имеет T-образный запорный механизм, то входными будут боковые патрубки, а выходом является средний, перпендикулярный им, штуцер. Для L-образных затворов входные патрубки находятся с торца и снизу (сбоку), а выход расположен на противоположном торцевом патрубке.

Для того, чтобы помочь при установке, производители указывают направление движения потока стрелками, нарисованными или нанесенными при отливке на корпус крана.

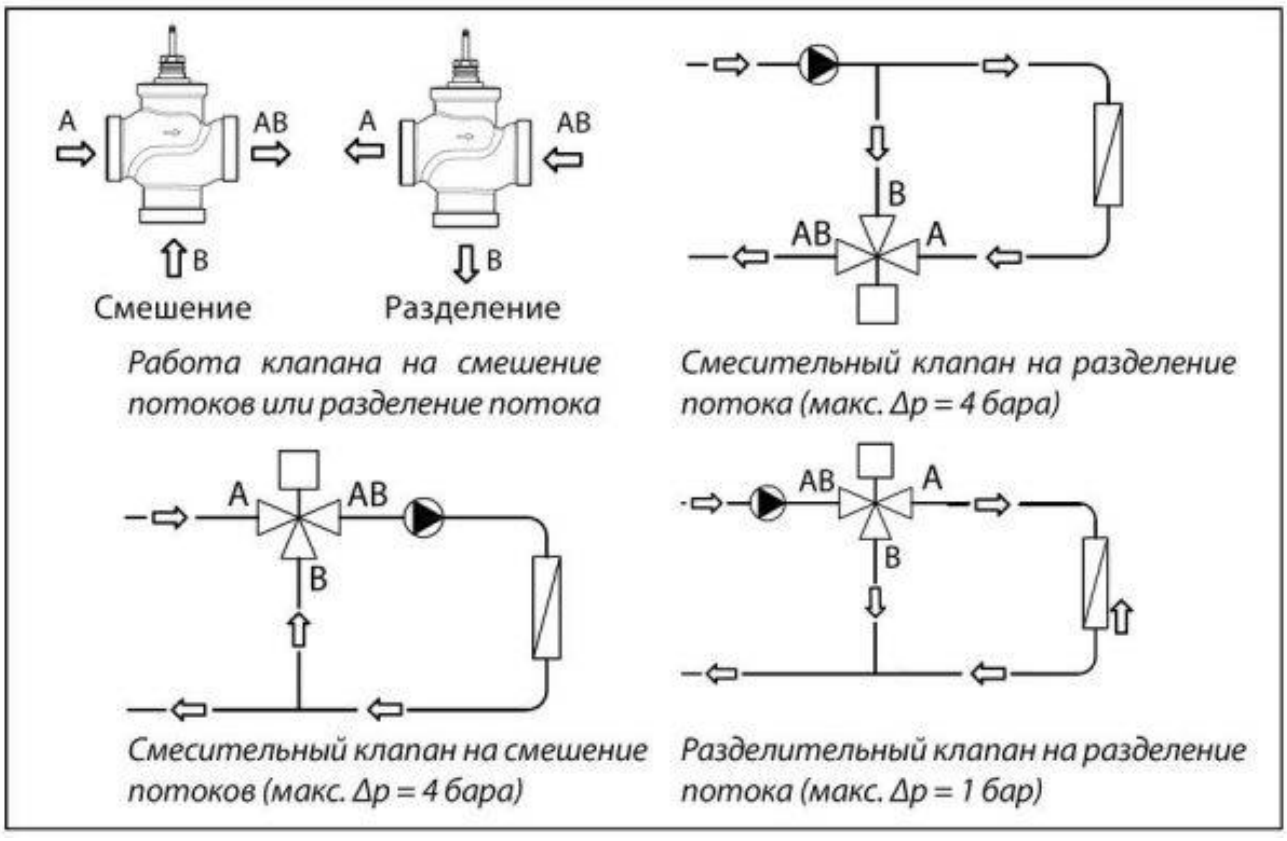


Рис. Варианты установки клапанов

Функциональность клапанов различна. По этому признаку трехходовики подразделяются на переключающие, смесительные и разделительные.

Смесительные

Рис. Смесительный трехходовой клапан

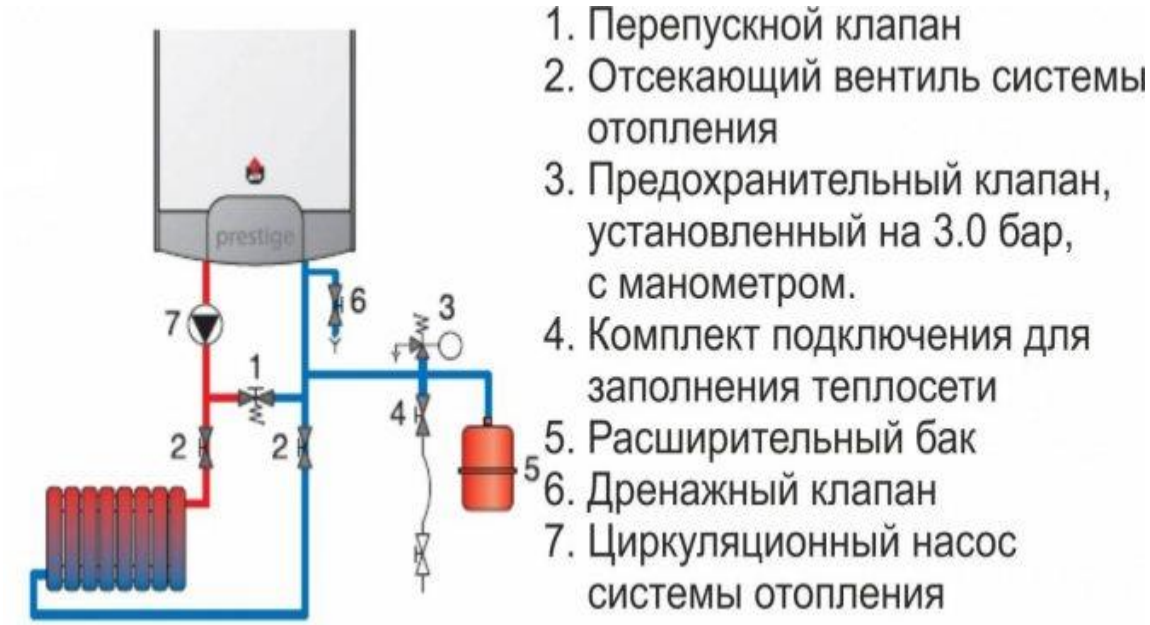
Принцип работы трехходового клапана в системе отопления
На один вход подается холодный поток, на другой – горячий. На выходе они смешиваются, образуя один поток заданной температуры. Таким образом, благодаря термосмесителю регулируется температура теплоносителя, в частности осуществляется подмешивание обратки в теплоноситель на выходе из котла. Для этого клапан устанавливают на обратке трубы отопления.

Разделительные

Разделительные клапаны также называют распределительными. Они разделяют один поток на два. Используются в системе ГВС, обвязках воздухонагревателей.

Переключающие

Переключающие или перекидные выполняют переключение с контура на контур, например, с отопления на горячее водоснабжение. Переключение осуществляется с помощью электропривода.



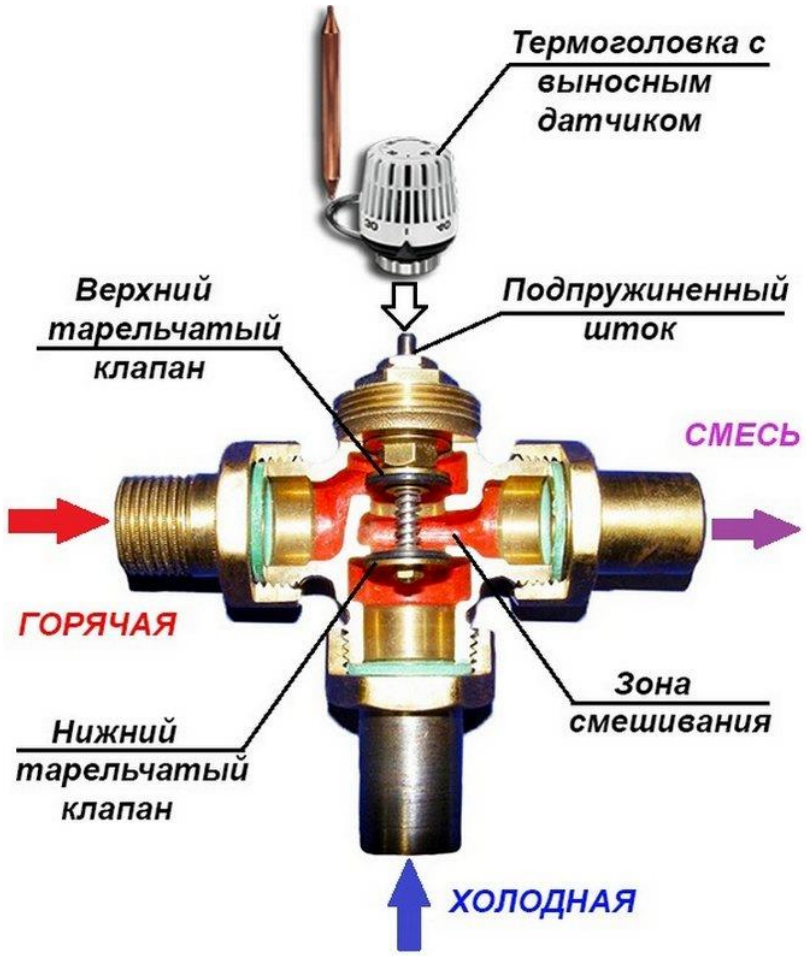


Рис. Трехходовой клапан с термостатической головкой

Способы управления трехходовыми клапанами

Трехходовые клапаны по способу управления бывают:

- автономными;
- ручными;

- термостатическими;
- с электроприводом.

Если возможность управления отсутствует, термоклапан относится к автономному типу. Он настроен заводом-изготовителем на определенную температуру теплоносителя, т.е. температура в системе будет постоянной всегда. Главными преимуществами таких устройств является низкая стоимость и возможность поддержания одной и той же температуры. Но изменить предустановленные настройки нельзя, поэтому характеристики клапана должны соответствовать требованиям системы, подбирать его придется более тщательно.

Рис. Клапан с электрическим приводом

Устройство

Конструктивно он представляет два соединенных двухходовых крана в одном корпусе.

Но в отличие от них полностью водяной поток горячей воды не перекрывается, а регулируется интенсивность его прохождения. За счет этого меняется температура горячей воды.

Основные детали клапана:

- корпус;
- шток с запорной шайбой или металлический шарик;
- гайки крепления (муфты).

Клапаны со штоком позволяют автоматизировать управление посредством электромеханического привода. **Это позволяет автоматически регулировать температуру воды**. Шариковый клапан по принципу действия можно сравнить со смесителем на кухне. Они используются только в клапанах с ручным управлением.

Функции и виды

Трёхходовой термостатический клапан нужен для того, чтобы:

- Заботливая профилактика повторного инсульта, инфаркта и тромбоза
- Кишечнорастворимая оболочка препарата способствует уменьшению прямого раздражающего действия ацетилсалициловой кислоты на желудок
- Одновременно подключить несколько водяных контуров и в то же

время установить постоянный равномерный нагрев. Клапан применяют для подключения системы «тёплый пол», а также, если есть необходимость в отоплении нескольких зданий, стоящих отдельно, одновременно.

- Чтобы из-за разницы температурного нагрева воды на подаче, а также обработке системы отопления не произошло несчастных случаев и поломки котла. Особое внимание стоит уделить теплообменникам из чугуна, так как они наиболее чувствительны к изменениям.

3х ходовой клапан для котла по принципу действия делят на несколько видов. Их название говорит о назначении:

1. Разделительный клапан.
2. Переключающий клапан.
3. Смесительный клапан.

Кроме всего существуют механические модели и на автоматике (в автоматических устройствах мембрана движется самостоятельно, а в механических — регулируется вручную, поэтому на каждой входящей трубе есть термометр для слежения за температурой).

Как выглядит внешне каждый из видов узнать не составит труда, ведь на самом изделии в виде схемы изображён принцип его действия. Разделительный клапан разделяет, переключающий по разным контурам переключает воду, а смесительный смешивает пару потоков теплоносителя с разной температурой.

Трёхходовой термостатический клапан

При помощи разъединения или перемешивания делают нужную оптимальную температуру носителя тепла. Переключение применяется же в газовых отопительных котлах с двумя контурами, когда тёплую воду нужно по очереди пускать в разные теплообменники.

Рис. Клапан для теплого пола

Для теплого пола предпочтительно устанавливать клапаны с сервоприводом Разновидность клапана подбирают с учетом особенностей системы:

- Для защиты котла от конденсата достаточно клапана с внутренним термостатом, настроенным на постоянную температуру теплоносителя.

- Если система состоит из нескольких ветвей и необходимо управлять нагревом каждой, устанавливают регулятор с термоголовкой и выносным датчиком.
- При самостоятельной сборке системы рекомендован к монтажу смесительный клапан. Новичку проще разобраться в схеме его работы, как его поставить, снять.
- Седельные разновидности, в отличие от поворотных, более точно позволяют регулировать температуру теплоносителя и напор.
- Для теплого пола рекомендованы электрические модели с сервоприводом.
- Для ГВС – разделительные клапаны, для отопления – смесительные.

Рис. Виды трехходовых клапанов

Диаметр резьбы на клапане должен совпадать с диаметром труб отопления
Что касается технических характеристик, необходимо принять во внимание:

- способ соединения – бывает резьбовым и фланцевым;
- внутренний диаметр труб – должны совпадать с диаметром труб в месте установки;
- максимальное рабочее давление;
- максимальную температуру теплоносителя на участке монтажа;
- усредненный расход воды в час – условную пропускную способность;
- динамический диапазон регулирования (30:1, 50:1, 100:1) – указывает на разницу пропускной способности при полностью закрытом затворе и полуоткрытом.

Клапаны с диапазоном 100:1 показывают более широкие возможности регулировки.

Рис. Виды сервоприводов

Модели в зависимости от объема теплоносителя, марки ESBE

Данные указаны в паспорте к изделию. Чтобы правильно подобрать клапан по параметрам системы, необходимо также рассчитать расход теплоносителя на линии установки, потому что клапан должен пропускать нужный объем воды при разных положениях штока.

Последний, но не по значению, параметр – производитель. Популярные:

- Esbe (Швеция);
- Danfoss (Дания);
- Honeywell (США);
- Herz Armaturen (Австрия);
- Caleffi (Италия);
- Icma (Италия);
- Valtec (Россия).

Пропускная способность регулирующего клапана k_v/k_{vs}

Регулирующий клапан — это вид трубопроводной арматуры, наиболее часто применяемый для регулирования расхода и давления.

Правильный подбор регулирующего клапана является необходимым условием для обеспечения нормальной работы трубопроводной системы. Подбор регулирующего клапана сводится к определению его пропускной способности, при которой на заданном расходе будет дросселирован заданный избыток напора. Пропускная способность регулирующего клапана характеризуется коэффициентом пропускной способности K_v. Коэффициент K_v равен расходу рабочей среды с плотностью 1000 кг/м^3 через клапан при перепаде давления на нем 0,1 МПа.

Формулы для определения коэффициента K_v различаются для различных типов среды и величин давления, формулы для расчета K_v представлены в таблице 8.

Таблица 8

Формулы для определения коэффициента K_v.

Среда	Давление	Формула расчета Kv
Жидкость	-	$Kv = Q\sqrt{\frac{\rho}{1000 \cdot dP}}$
Газ	$dP \le \frac{P1}{2}$	$Kv = \frac{Qn}{514}\sqrt{\frac{\rho(t1+273)}{dP \cdot P2}}$
	$dP > \frac{P1}{2}$	$Kv = \frac{Qn}{257 \cdot P1}\sqrt{\rho(t1+273)}$
Пар	$dP \le \frac{P1}{2}$	$Kv = \frac{G}{461}\sqrt{\frac{t1+273}{dP \cdot P2}}$
	$dP > \frac{P1}{2}$	$Kv = \frac{G}{230 \cdot P1}\sqrt{t1+273}$

- P1 — давление на входе клапана, бар;
- P2 — давление на выходе клапана, бар;
- dP=P1 – P2 — перепад давления на клапане, бар;
- t1 — температура среды на входе, ^{0}C;
- Q — расход для жидкости, м^3/ч;
- Qn — расход для газов при Н.У., нм^3/ч;
- G — расход для водяного пара, кг/ч;
- ρ — плотность кг/м^3 (для газов плотность при Н.У. кг/нм^3)

Величина K_v умножается на коэффициент запаса k1 (который обычно принимается в диапазоне 1,2-1,3): K_{vs}=k1*K_v. И получаем величину K_{vs} – условная пропускная способность клапана.

По рассчитанному значению K_{vs}, по каталогам производителей, подбирается регулирующий клапан с максимально близким большим значением K_{vs} с учетом рекомендуемого диаметра.

При подборе регулирующего клапана так же рекомендуется определять условный диаметр клапана и проводить проверку на возникновение кавитации.

Условный диаметр регулирующего клапана

Регулирующая арматура никогда не подбирается по диаметру трубопровода. Однако диаметр необходимо определять для подбора обвязки регулирующих клапанов. Так как регулирующий клапан подбирается по величине K_{vs}, часто условный диаметр клапана оказывается меньше условного диаметра трубопровода, на котором он установлен. В этом случае допускается выбирать клапан с условным диаметром меньше условного диаметра трубопровода на одну-две ступени.

Определение расчетного диаметра клапана ведется по формуле:

$$d = 18{,}8\sqrt{\frac{Q}{V}}$$

- d — расчетный диаметр клапана в, мм;

- Q — расход среды, $м^3$/час;
- V – рекомендуемая скорость потока м/с.

Рекомендуемая скорость потока:

- жидкость – 3 м/с;
- пар насыщенный – 40 м/с;
- газ (при давлении < 0,001 МПа) – 2 м/с;
- газ (0,001 – 0,01 МПа) – 4 м/с;
- газ (0,01 – 0,1 МПа) – 10 м/с;
- газ (0,1 – 1,0 МПа) – 20 м/с;
- газ (> 1,0 МПа) – 40 м/с;

По расчетному значению диаметра (d) выбирается ближайший больший условный диаметр клапан $Д_у$.

Проверка клапана на кавитацию

Кавитация — процесс образования и последующего схлопывания пузырьков вакуума в потоке жидкости, сопровождающийся шумом и гидравлическими ударами, что в свою очередь приводит к преждевременному износу элементов регулирующей арматуры.

Для определения возможности возникновения кавитации на клапане проверяется условие: $dP >= 0,6P_1$.

Расчет трехходового клапана

$К_{тр}$=0,86 Q/Δt, где Q – мощность ветви (тепловая нагрузка), для котла или цепи отопления всего дома принимается по мощности тепло генерации кВт, Δt – разница температур подачи и обратки, обычно это 20 град, а для теплого пола – 10 град.

Тогда для обвязки 20 кВт-ного котла через клапан должно проходить жидкости не менее чем $К_{тр}$=0,86 20/20=0,86 м куб/час, при перепаде давления 1 бар.

Но у нас перепад давления намного меньше – порядка 0,2 бар. При таком давлении пропускная способность клапана должна быт значительно больше. Какая именно?

- Перепад давления для любой схемы между подачей и обраткой не будет превышать 0,2 бар, типично находится в пределах 0,1 – 0,2 бар.

Существует некая эмпирическая формула на этот счет, — пропускная способность клапана в нашей схеме должна быть не менее, чем

К= $К_{тр}/\sqrt{p}$, м куб/час, К= 0.86 / √0.2 = 1.9 $м^3$/ч.

Подбираем клапан с большей характеристикой: K_{vs} больше чем К, но ненамного, чтобы не сильно переплачивать за объемность конструкции, подходит K_{vs} =2,5 $м^3$/ч.

Подбираем трехходовой смесительный клапан с такой пропускной способностью от известного производителя и считаем, что он обеспечивает нам нормальное смешения в схеме с мощностью 20 кВт.

1.4.4 Кавитационная характеристика клапана

Кавитация – нарушение сплошности внутри жидкости, т. е. образование внутри капельной жидкости полостей, заполненных газом, паром или их смесью (так называемая пузырьковая кавитация). Пузырьки являются нестабильными, непрерывно переходящими обратно в жидкую фазу. Кавитация возникает в результате резкого местного снижения статического давления ниже критического значения, которое для воды приблизительно равно давлению насыщения водяного пара при данной температуре. Если понижение давления происходит вследствие местного повышения скорости в напорном трубопроводе, то кавитацию называют гидродинамической, а в случае понижения давления вследствие прохождения в жидкости акустических волн – акустической.

Перечисленные виды кавитации могут образовываться в насосах и запорно-регулирующей арматуре. При фазовом переходе теплоносителя в пузырьках мгновенно и значительно изменяется статическое давление. Оно локально воздействует на поверхность лопаток и внутреннюю поверхность корпуса насоса, на затвор и внутреннюю поверхность корпуса клапана. При этом происходит вырывание частиц материала, из которого изготовлены насосы и клапаны, и их разрушение за очень короткий промежуток времени.

Возникновение кавитации пагубно влияет также и на гидравлические характеристики насоса и клапана. У насоса снижается производительность и напор, увеличивается шум и вибрация. У клапана снижается пропускная способность, повышается коэффициент гидравлического сопротивления, искажается вид расходной характеристики, образовывается шум и вибрация.

Вероятность образования кавитации возрастает в системах с низким статическим давлением, высокой температурой теплоносителя и большим перепадом давления на элементах системы, создающих местное сопротивление. Для недопущения кавитации при подборе насосов и клапанов необходимо обеспечить, чтобы статическое давление было выше давления насыщения теплоносителя при данной температуре на определенную величину, определяемую коэффициентом кавитации.

Расчет максимально допустимого перепада давления на клапане, при котором обеспечивается его бескавитационная работа, и проверку регулирующего клапана осуществляют по формуле:

$$\Delta P_{v\max} = Z(P^* - P_{нас}) > \Delta P_v,$$

где $\Delta P_v max$ – предельно допустимый бескавитационный перепад давления на клапане, бар; Z – коэффициент кавитации; P* – абсолютное давление на входе клапана (следует иметь ввиду, что в исходных данных при проектировании теплового пункта дается избыточное давление, к которому следует прибавить 1 бар для получения абсолютного давления), бар; Рнас – абсолютное давление насыщения паров воды при рабочей температуре (табличные данные, например, Следует обращать внимание на то, что в справочниках может указываться либо абсолютное, либо избыточное значение этого параметра), бар; ΔP_v – потери давления на клапане, бар.

Коэффициент кавитации Z указан в техническом описании к клапану. Его значение находится в примерных диапазонах:

- 0,1...0,2 – у запорных клапанов;
- 0,2...0,6 – у регулирующих клапанов;
- 0,6...0,9 – у специальных клапанов.

В том случае, если при подборе клапана потери давления на нем превышают максимально допустимый бескавитационный перепад давления, следует выбрать иное проектное решение. Осуществляют это, например, перераспределением потерь давления на клапанах, либо установкой данного клапана на обратной магистрали. В первом варианте уменьшаются потери давления на клапане ΔP_v, во втором – увеличивается $\Delta P_v max$, т. к. в обратном трубопроводе ниже температура теплоносителя, чем в подающем и, соответственно, ниже Рнас.

В любом случае перед клапаном регулятора теплового потока (температуры), даже при отсутствии вероятности образования кавитации на нем, должен быть установлен как минимум один автоматический регулятор перепада давления. Его основные задачи заключаются в устранении гидравлической разрегулировки системы теплоснабжения и обеспечении эффективных гидравлических условий клапану регулятора теплового потока (температуры) для управления объектом регулирования не только в статическом, но и динамическом режиме работы теплового пункта и теплосети. Если же на регуляторе теплового потока существует вероятность образования кавитации, то, как вариант проектного решения, на регуляторе перепада давления уменьшают автоматически поддерживаемый перепад давления до требуемого минимума и по этому перепаду подбирают клапан регулятора теплового потока с большей пропускной способностью. Варианты проектных решений при зависимом и независимом подключении абонента к теплосети показаны соответственно на рис. 6.27, а и рис. 6.27, б.

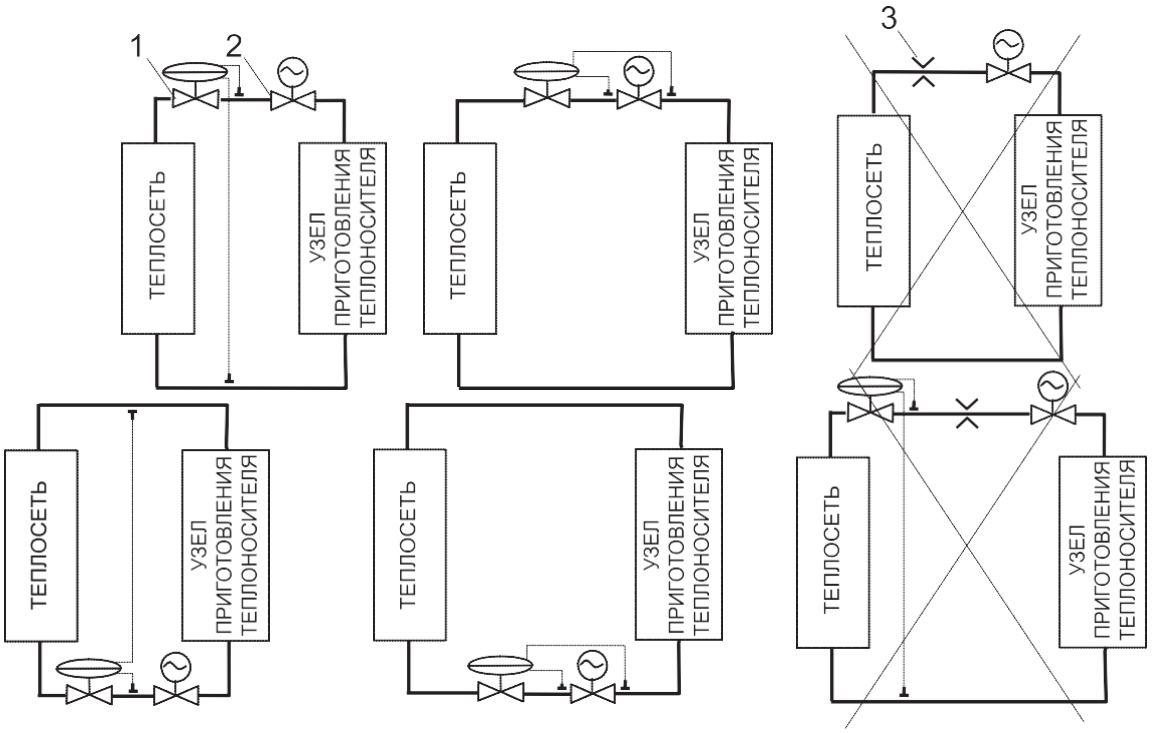


Рис. 6.27. Обеспечение бескавитационной работы клапана: а, б - эффективные проектные решения соответственно при зависимом и независимом присоединении абонента; в - неэффективные проектные решения; 1 - регулятор перепада давления; 2 - регулятор теплового потока; 3 - диафрагма

Наихудший вариант установки диафрагмы – непосредственно перед регулятором теплового потока (температуры). На рис. 6.27, в эти проектные решения перечеркнуты, поскольку ухудшается регулирование, увеличивается вероятность шумообразования и снижается ресурс клапанов. Для устранения таких недостатков следует устанавливать диафрагму на подающем трубопроводе до регулятора перепада давления.

Одним из вариантов уменьшения вероятности кавитации в регулирующем клапане является его расположение на обратной магистрали.

1.4.5 Шумовая характеристика клапана

Запорно-регулирующая арматура может стать источником образования шума при неправильном ее подборе. В соответствии с нормой в проектах отопления, вентиляции и кондиционирования следует предусматривать технические решения, обеспечивающие нормируемые уровни шума и вибраций от работы оборудования и систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, кроме систем аварийной вентиляции и систем противодымной защиты, для которых при работе и апробировании согласно в помещениях, где установлено это оборудование, допустим шум не более 110 дБА, а при импульсном шуме – не более 125 дБА. В норме ограничен также один из параметров бесшумной работы водяных систем – предельная скорость теплоносителя во входном сечении клапана, не вызывающая превышение допустимого эквивалентного уровня звука по шуму. Для

терморегуляторов у отопительных приборов с этой целью ограничен перепад давления теплоносителя на них.

Допустимые уровни звука по шуму в помещениях различного назначения нормированы. Так, в жилых комнатах квартир – 30 dB(A). Данное требование отвечает международным требованиям, предъявляемым к комнате жилого здания, согласно которым допустимый уровень шума составляет:

- для сна – 30 dB(A);
- для дневного отдыха – 35 dB(A);
- для умственной работы – 40 dB(A);
- для домашней работы – 45 dB(A).

Выполнение таких условий обеспечивает жильцам удовлетворительные условия комфорта при сне, отдыхе, работе и неопасен для их здоровья. При этом допустимый уровень звукового давления в комнате жилого здания, создаваемый оборудованием в здании, составляет:

- для специфического оборудования – 35 dB(A);
- для обычного оборудования – 30 dB(A).

Таким образом, в зависимости от места установки запорно-регулирующей арматуры к ней предъявляют требования различного уровня. Если она установлена непосредственно в помещении, которое должно быть защищено от шума, то создаваемый ею шум не должен превышать предъявляемых требований к данному помещению. Если она установлена за пределами такого помещения, то создаваемый ею шум может превышать требования к помещению, но с учетом затухания шума – не превышать этих требований непосредственно в помещении. Такой двойной подход к запорно-регулирующей арматуре реализуют и при ее выборе.

Для запорно-регулирующей арматуры, устанавливаемой непосредственно в помещении с нормированными требованиями защиты по шуму или вблизи с ним, скорость движения воды в трубопроводе из условия бесшумности зависит от коэффициента местного сопротивления этой арматуры. В норме даны предельные значения этих скоростей для стальных трубопроводов, представленные в табл. 9. В числителе указана допустимая скорость теплоносителя в пробочных кранах и кранах двойной регулировки, в знаменателе – в вентилях. Ориентировочные значения коэффициента местных сопротивлений ξ для различных типов запорно-регулирующей арматуры:

- краны шаровые полнопроходные – 0,1...0,4;
- то же, суженные – 0,4...1,6;
- то же, пробковые – 0,4...1,2;
- задвижки полнопроходные – 0,1...1,2;
- то же, суженные – 0,2...1,8;
- вентили проходные – 4,5...11,0;
- то же, прямоточные – 0,3...2,5;
- то же, мембранные – 1,5...7,0.

Таблица 9.

Допустимая скорость движения воды в стальных трубопроводах

Допустимый эквивалентный уровень звука по шуму L_A, dB(A)	Допустимая скорость движения воды, м/с, при коэффициентах местных сопротивлений узла теплообменного прибора или стояка с арматурой, приведенных к скорости теплоносителя в трубах				
	$\xi \leq 5$	ξ=10	ξ=15	ξ=20	ξ=30
25	1,5/1,	1,1/0,	0,9/0,	0,75/	0,6
30	1,5/1,	1,5/1,	1,2/1,	1,0	0,85/
35	1,5/1,	1,5/1,	1,5/1,	1,2	1,0
40	1,5/1,	1,5/1,	1,5/1,	1,5	1,3

Из приведенных данных следует, что максимально допустимая скорость теплоносителя в стальных трубопроводах зависит от требований к конкретному помещению по условиям бесшумности. В общем случае эта скорость не должна превышать 1,5 м/с. Для пластиковых труб, способных гасить как звук, так и гидравлические удары, это значение несколько выше, а именно: в стояках – до 2,5 м/с, в распределительных и сборных трубопроводах – до 2,0 м/с. Скорость воды в медных трубопроводах с незащищенной внутренней поверхностью имеет дополнительное ограничение. Она не должна способствовать разрушению образующейся защитной оксидной пленки на внутренней поверхности трубы. Ее максимальное значение в системах обеспечения микроклимата не должно превышать 1 м/с.

Для запорно-регулирующей арматуры, устанавливаемой вдали от помещений с требованиями защиты по шуму, скорость воды во входном сечении не должна превышать 3 м/с. При такой скорости теплоносителя эквивалентный уровень звука по шуму примерно равен 40 dB(A). Исходя из этих условий, в табл. 10 представлены максимально допустимые объемные расходы теплоносителя в запорно-регулирующей арматуре.

Таблица 10.

Допустимый объемный расход воды в клапанах

Параметр	Типоразмер клапана *dy*, мм							
	15	20	25	32	40	50	65	80
Максимально допустимый объемный расход теплоносителя *V*max, м3/ч, в клапане	1,9	3,4	5,3	8,7	13,6	21,2	35,8	54,3

Для запорно-регулирующей арматуры, которой присущи конструктивные особенности, в техническом описании на графике зависимости $\Delta P = f(V)$ указаны границы предельных перепадов давления, создающих шум. Так, например, для перепускного клапана AVDO эти границы зависят от положения настройки клапана, и граница приемлемого шума указана на графике пунктирной линией.

Образование шума в клапанах зависит от создаваемого им сопротивления и скорости теплоносителя. Скорость теплоносителя перед клапанами в тепловом пункте не должна превышать 3 м/с.

Тема 5 «Применение законов регулирования в процессе автоматического управления теплопотребляющими системами». Пропорциональное регулирование. Пропорционально-интегральное регулирование. ПИД-регулирование.

1.5.1 Типовые законы регулирования

Динамические характеристики объектов, как было указано ранее, могут быть представлены некоторыми типовыми зависимостями. Это позволяет разнообразие законов регулирования свести к нескольким типовым (стандартным) законам, которые в большинстве случаев используются на практике. В этом случае задача синтеза САР сводится к выбору подходящего регулятора с типовым законом регулирования и определению оптимальных параметров его настройки.

Основные законы регулирования и область их применения сведены в табл. 11.

Таблица 11.

Основные законы регулирования и область их применения

Закон регули-рования.	**Характеристика объекта**		**Характер изменения нагрузки**		**Область применения**
	Емкость	Скорость реакции	Значение	Скорость	
Позицион-ный	Большая	Малая	Произволь-ное	Произволь-ная	Установки с большой постоянной времени, резервуары, котлы водяного отопления, отопительные приборы
И-	Произвольная	Быстрая	Произволь-ное	Малая	Объекты с малым запаздыванием, промышленные печи, СКВ, объекты с самовыравниванием
П-	Средняя	Умеренная	Малое	Средняя	Регулирование уровня, сушильные печи и т.д.
ПИ-	Произвольная	Произволь-ная	Большое	Средняя	Объекты с большой скоростью протекания процессов
ПИД-	Произвольная	Произволь-ная	Большое	Большая	Объекты с неожидан-ными возмущениями

Значения оптимальных параметров настройки типовых регуляторов для объектов с самовыравниванием приведены в табл. 12.

Таблица 12.

Значения оптимальных параметров настройки типовых регуляторов для объектов с самовыравниванием

Тип регулятора	Тип переходного процесса		
	Апериодический с min $t_{рег}$	С 20 % перерегулирования	С min квадрат. площадью
И-	$T_S = 4{,}5 \cdot K_0 \cdot T_0$	$T_S = 1{,}7 \cdot K_0 \cdot T_0$	$T_S = 1{,}7 \cdot \tau \cdot K_0 \cdot T_0$
П-	$K_p = \frac{0{,}3}{K_0 \cdot \tau / T_0}$	$K_p = \frac{0{,}7}{K_0 \cdot \tau / T_0}$	$K_p = \frac{0{,}9}{K_0 \cdot \tau / T_0}$
ПИ-	$T_u = 0{,}8\tau + 0{,}5T_0$ $K_p = \frac{0{,}95}{K_0 \cdot \tau / T_0}$	$T_u = \tau + 0{,}3T_0$ $K_p = \frac{1{,}2}{K_0 \cdot \tau / T_0}$	$T_u = \tau + 0{,}35T_0$ $K_p = \frac{1{,}4}{K_0 \cdot \tau / T_0}$
ПИД-	$T_u = 2{,}4\tau$ $T_д = 0{,}4\tau$	$T_u = 2{,}0\tau$ $T_д = 0{,}4\tau$	$T_u = 1{,}3\tau$ $T_д = 0{,}5\tau$

1.5.2 Пропорциональные регуляторы (П-регуляторы)

Пропорциональными, или статическими называют автоматические регуляторы, у которых при отклонении регулируемой величины от заданного значения происходит перемещение регулирующего органа пропорционально величине этого отклонения (*statos* -стоящий). Чем больше отклонение, тем больше управляющее воздействие, при этом значению сигнала на входе регулятора соответствует только одно определенное положение регулирующего органа.

Пропорциональная зависимость достигается за счет действия жесткой обратной связи, поэтому П-регуляторы называются также регуляторами с жесткой обратной связью. Скорость перемещения регулирующего органа таких регуляторов пропорциональна скорости изменения регулируемой величины.

Алгоритм регулирования П-регулятора:

$$\Delta Y_p = K_p * x_p$$

K_P – коэффициент передачи;

ΔY_P – перемещение регулирующего органа;

x_P – сигнал на входе регулятора.

В П-регуляторах всегда присутствует статическая ошибка регулирования.

Пропорциональные регуляторы могут применяться для управления процессами, протекающими в объектах, как обладающих, так и не обладающих самовыравниванием. При этом нужно иметь в виду, что изменения нагрузки должны быть невелики, чтобы статическая ошибка оставалась в допустимых пределах.

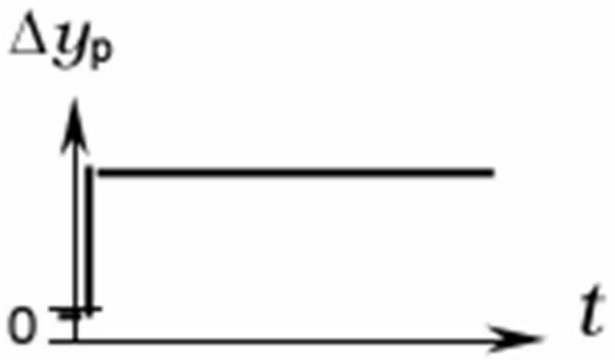


Рис. 4 Кривая разгона П-регулятора

Такие регуляторы применяются в любых объектах, например, в системах вентиляции для поддержания требуемого температурного режима в помещении и могут включать в себя таймер и дистанционное управление, также в системах регулирования давления в трубопроводе. Они имеют максимальное быстродействие. Недостаток – это наличие статической ошибки.

1.5.3 Пропорционально – интегральные регуляторы (ПИ-регуляторы)

Сравнение П-регуляторов и И-регуляторов показывает, что первые обладают преимуществом по динамическим свойствам и обеспечивают лучший переходный процесс регулирования (выше быстродействие); преимущество вторых – отсутствие статической ошибки (выше точность регулирования)

ПИ – регулятор совмещает оба П- и И- регуляторы

ПИ – регулятор - изодромный (от греческого *isos* - равный, подобный; *dromos*- бегущий).

При отклонении регулируемой величины от заданного значения он пропорционально переместит регулирующий орган как П-регулятор. Затем продолжит перемещение регулирующего органа до исчезновения статической ошибки, т.е. приведет регулируемую величину к заданному значению аналогично И-регулятору.

ПИ-регуляторы являются регуляторами косвенного действия. Они могут применяться на любых объектах и обеспечивают высокую точность выполнения задания.

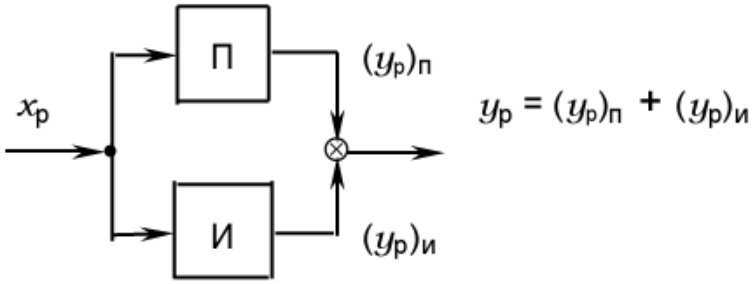


Рис. 6 Структурная схема ПИ-регулятора

$$\Delta y_P = K_P \cdot x_P + \frac{1}{T_И}\int_0^t x_P dt$$

$T_У$ – время удвоения - за это время полное перемещение регулирующего органа *ΔУР* удваивается, по сравнению с тем, которое совершает только один - пропорциональный компонент регулятора *(УР)П*.

Постоянная времени интегрирования в И-регуляторе равна времени, в течение которого с момента поступления на вход регулятора постоянного сигнала выходной сигнал регулятора достигнет значения, равного значению входного сигнала.

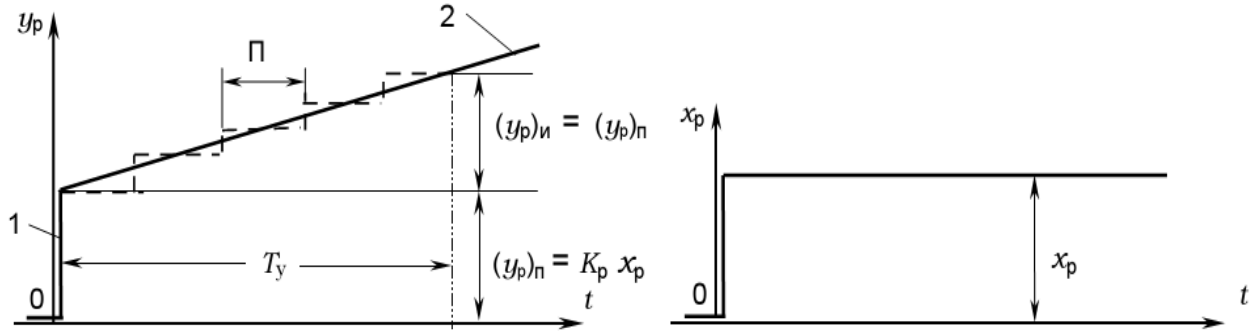


Рис. 7 Кривая разгона ПИ - регулятора:
1 - пропорциональный и 2 интегральный компоненты

Практически встречаются промышленные образцы автоматических регуляторов, которые используют не только непрерывный, но и импульсный режим действия.

В непрерывном режиме обычно работает пропорциональная компонента регулятора, так как требуется обеспечить максимально возможную скорость исполнительного механизма. Импульсный же режим оказывается удобным для настройки требуемой средней скорости исполнительного механизма путем включения его отдельными импульсами, следующими друг за другом с периодом П. Величина П оказывается в таком случае дополнительным параметром настройки, использование которого оказывается целесообразным для компенсации запаздывания объекта.

1.5.4 Дифференциальные регуляторы (ПИД-)

В состав линейных регуляторов может быть введен блок дополнительного (дифференцирующего - Д) воздействия на объект по первой производной его выходного параметра. Это позволяет быстрее приводить выход объекта к его заданному значению, по сравнению с тем, когда регулятор чувствителен только к сигналу *хр*. В результате реализуются пропорционально-дифференциальные (ПД-) и пропорционально-интегрально-дифференциальные (ПИД-) законы регулирования. Однако они эффективны лишь для малоинерционных объектов, то есть объектов с малой постоянной времени и, следовательно, высокой скоростью изменения

выхода.

Такие регуляторы целесообразно применять в тех случаях, когда нагрузка объектов регулирования изменяется часто и быстро, а запаздывания велики.

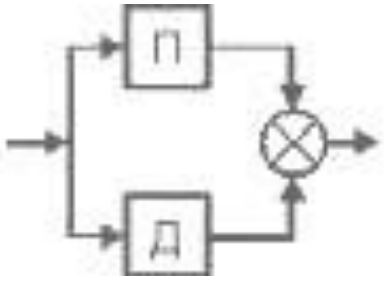


Рис. 8 Структурная схема ПД-регулятора

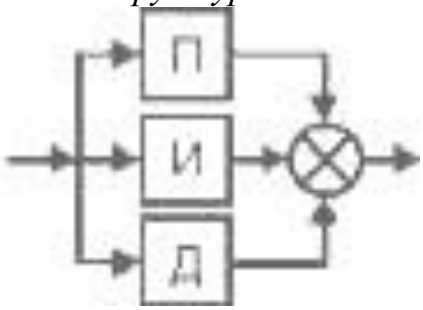


Рис. 9 Структурная схема ПИД-регулятора

Закон ПД – регулирования:

$$\Delta y_P = K_P + T_П \frac{dx_P}{dt}$$

Закон ПИД – регулирования:

$$\Delta y_P = K_P \left(x_P + \frac{1}{T_У} \int x_P dt + T_П \frac{dx_P}{dt} \right)$$

$T_П$ – называется временем предварения - постоянная времени дифференцирующего устройства, подающего на вход регулирующего устройства импульс, пропорциональный скорости изменения регулируемой величины.

Тема 6 «Технические средства автоматизации систем теплоснабжения и теплопотребления гражданских зданий». Электронные регуляторы температуры. Классификация электронных регуляторов. Рабочие режимы электронных регуляторов. Централизованные и распределенные системы управления климатическими параметрами жилого помещения.

1.6.1 Централизованные и распределенные системы управления климатическими параметрами жилого помещения Структура АСУ ТП.

Характерной особенностью развития современной электронной

промышленности является бурный рост, сопровождающийся столь же бурным снижением стоимости средств автоматизации, вычислительной техники, коммуникаций, устройств высокоточных измерений параметров.

Цифровые технологии быстро вытесняют аналоговые, преобладавшие в системах управления в недалеком прошлом. Это связано с тем, что возможности цифровых средств измерения и управления на порядок выше, чем у аналоговых. К числу их достоинств относятся:

1) более точное представление измеряемых величин;
2) большая помехозащищенность;
3) возможности построения вычислительных сетей;
4) большая гибкость и эффективность в управлении процессом и т.д.

Все эти возможности связаны с конкретными выгодами для пользователей:

1) ускорение работы операторов системы управления;
2) экономия финансовых ресурсов;
3) повышение качества и корректности решений, принимаемых операторами;
4) уменьшение потерь продукции и др.

Любую автоматическую систему управления технологическим процессом (АСУ ТП) можно в конечном итоге разделить на 3 основных уровня иерархии:

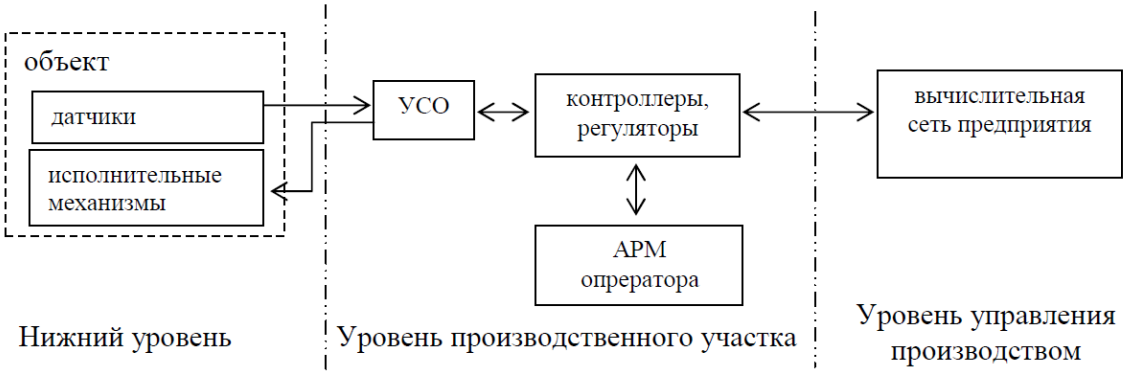


Рис. Уровни управления

Самым нижним уровнем является уровень датчиков и исполнительных механизмов, которые устанавливаются непосредственно на технологических объектах. Их деятельность заключается в получении параметров процесса, преобразовании их в соответствующий вид для дальнейшей передачи на более высокую ступень (функции датчиков), а также в приеме управляющих сигналов и в выполнении соответствующих действий (функции исполнительных механизмов).

Средний уровень - уровень производственного участка. Его функции:

- сбор информации, поступающей с нижнего уровня, ее обработка и хранение;
- выработка управляющих сигналов на основе анализа информации;
- передача информации о производственном участке на более высокий уровень.

Верхний уровень в системе автоматизации занимает т.н. уровень управления. На этом уровне осуществляется контроль за производством

продукции. Этот процесс включает в себя сбор поступающих с производственных участков данных, их накопление, обработку и выдачу руководящих директив нижним ступеням. Атрибутом этого уровня является центр управления производством, который может состоять из трех взаимопроникающих частей:

1) операторской части,
2) системы подготовки отчетов,
3) системы анализа тенденций.

Операторская часть отвечает за связь между оператором и процессом на уровне управления. Она выдает информацию о процессе и позволяет в случае необходимости вмешательство ход автоматического управления. Обеспечивает диалог между системой и операторами.

Система подготовки отчетов выводит на экраны, принтеры, в архивы и т.д. информацию о технологических параметрах с указанием точного времени измерения, выдает данные о материальном и энергетическом балансе и др.

Система анализа тенденций дает оператору возможность наблюдения за технологическим параметрами и делать соответствующие выводы.

На верхнем уровне АСУ ТП размещены мощные компьютеры, выполняющие функции серверов баз данных и рабочих станций и обеспечивающие анализ и хранение всей поступившей информации за любой заданный интервал времени. а также визуализацию информации и взаимодействие с оператором. Основой программного обеспечения верхнего уровня являются пакеты SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition - системы управления и доступа к данным).

Устройства связи с объектом (УСО).

Почти все технологические параметры, присутствующие в реальном технологическом объекте. имеют аналоговый или дискретный вид. Существует много датчиков, которые могут преобразовывать измеряемые величины только в аналоговый вид (напряжение, сопротивление, давление), а также много исполнительных механизмов, имеющих только аналоговые входные сигналы. Для того, чтобы связать между собой параметры, представленные в аналоговом и цифровом видах, в современной АСУТП используют устройства связи объектом.

Модули УСО - это конструктивно законченные устройства, выполненные в виде модулей, устанавливаемых, как правило, в специализированные платы с клеммными соединителями или стандартный DIN-рельс.

На УСО возлагаются следующие функции:

1) Нормализация аналогового сигнала, т.е. приведение границ шкалы первичного непрерывного сигнала к одному из стандартных диапазонов входных сигналов АЦП.
2) Предварительная низкочастотная фильтрация аналогового сигнала - ограничение полосы частот первичного непрерывного сигнала с целью

снижения влияния на результат измерения помех различного происхождения.

3) Обеспечение гальванической изоляции между источниками сигнала и каналами системы.

Помимо этих функций ряд УСО может выполнять более сложные функции за счет наличия в их составе АЦП, дискретного ввода-вывода, микропроцессора и интерфейсов передачи данных.

По характеру обрабатываемого сигнала УСО можно разделить на аналоговые, дискретные и цифровые.

Аналоговые УСО (аналого-цифровые преобразователи АЦП, цифроаналоговые преобразователи ЦАП и др.) должны обладать большой точностью, линейностью и большим напряжением изоляции.

Дискретные УСО обеспечивают опрос датчиков с релейным выходом, выключателей, контроля наличия напряжения в сети и т.д., а выходные дискретные УСО формируют сигналы для управления пускателями, двигателями и прочими устройствами. Дискретные УСО удовлетворяют тем же требованиям, что и аналоговые, но, кроме того, обладают минимальным временем переключения, а выходные могут обеспечивать коммутацию более высоких токов и напряжений.

Среди модулей УСО существуют также устройства, работающие только с цифровой информацией. К ним относятся коммуникационные модули, предназначенные для сетевого взаимодействия (например, повторители для увеличения протяженности линии связи, преобразователи интерфейсов RS-232/RS-485).

По направлению прохождения данных модули УСО можно разделить на три типа:

1) устройства ввода, обеспечивающие передачу сигналов датчиков;
2) устройства вывода для формирования сигналов на исполнительные механизмы;
3) двунаправленные.

В реальных системах модули УСО могут не присутствовать в виде самостоятельных устройств, а входить в состав датчиков (в этом случае датчики называют интеллектуальными) или промышленных компьютеров. Примером могут служить датчики, выдающие готовый цифровой сигнал. в этом случае граница между первичным преобразователем и УСО проходит где-то внутри датчика. С другой стороны, УСО могут быть выполнены в виде АЦП/ЦАП-плат, вставляемых в стандартные ISA или PCI слоты компьютера. В этом случае аналоговые сигналы могут быть введены прямо в компьютер, где и преобразуются в цифровой вид.

1.6.2 Классификация электронных регуляторов

Аппаратная и программная платформа контроллеров.

Промышленные контроллеры и компьютеры. расположенные на средне уровне АСУТП играют роль управляющих элементов. принимающих цифровую информацию и передающих управляющие сигналы.

До последнего времени роль контроллеров в АСУТП в основном исполняли PLC (Programmable Logic Controller - программируемые логические контроллеры) зарубежного и отечественного производства. Наиболее популярны нашей стране PLC таких зарубежных производителей, как Allen- Braidly, Siemens, ABB, Modicon, а также отечественные модели: «Ломиконт»,

«Ремиконт», Ш-711, «Микродат», «Эмикон» и др.

В связи с бурным ростом производства миниатюрных PC-совместимых компьютеров последние все чаще стали использовать в качестве контроллеров.

Первое и главное преимущество PC-контроллеров связано с их открытостью, позволяющей применять в АСУ оборудование разных фирм. Теперь пользователь не привязан к конкретному производителю.

Второе важное преимущество их заключается в более «родственных» связях с компьютерами верхнего уровня. В результате не требуются дополнительные затраты на подготовку персонала.

Третье преимущество - более высокая надежность. Обычно различают физическую и программную надежность контроллеров. Под физической надежностью понимают способность аппаратуры устойчиво функционировать в условиях окружающей среды промышленного цеха и противостоять ее вредному воздействию. Под программной понимается способность программного обеспечения (ПО) устойчиво функционировать в ситуациях, требующих реакции в заданное время. Программная надежность определяется в первую очередь степенью отлаженности ПО. Поскольку в большинстве PC- контроллеров используются коммерческие широко распространенные и хорошо отлаженные операционные системы (Windows, Unix, Linux, QNX и др.), то следует ожидать, что программная надежность будет выше, чем у PLC.

Операционные системы контроллеров должны удовлетворять не только требованиям открытости, но и требованиям работы в режиме реального времени, была компактна и имела возможность запуска из ПЗУ или флеш-памяти.

Операционная система PC-контроллеров

Операционная система контроллеров должна удовлетворять требованиям открытости. Но не только им. Специфика условий работы контроллеров требует, чтобы ОС поддерживала работу в режиме реального времени, была компактна и имела возможность запуска из ПЗУ или флэш-памяти.

Для PC-контроллеров лучше всего подходит операционная система QNX (фирма QSSL, Канада). Прежде всего, это связано с тем, что архитектура QNX является открытой, модульной и легко модифицируемой. QNX может загружаться как из ПЗУ, флэш-памяти, так и с помощью удаленной загрузки по сети. QNX разработана в соответствии со стандартами POSIX, является коммерческой операционной системой, широко распространена на мировом рынке (сотни тысяч продаж), поддерживает все шины, используемые в PC-

контроллерах, включая ISA, PCI, CompactPCI, PC/104, VME, STD32. Более ста фирм - производителей программного и аппаратного обеспечения выпускают продукцию, ориентированную на QNX.

QNX является операционной системой, которая дает полную гарантию в том, что процесс с наивысшим приоритетом начнет выполняться практически немедленно и что критическое событие (например, сигнал тревоги) всегда будет обработано. Она известна как операционная система, функционирующая в "защищенном режиме". Это означает, что все программы в системе защищены друг от друга и любая "фатальная" ошибка в одной из программ не приводит к "краху" всей системы. Файловая система QNX была разработана с учетом обеспечения целостности данных при отключениях питания. Даже при форс-мажорном отключении питания вы лишь потеряете некоторые данные из кэш-памяти, но файловая система не разрушится. После включения компьютера будет обеспечена нормальная работа системы. В QNX полностью реализовано встроенное сетевое взаимодействие "точка-точка". По существу, сеть из машин QNX действует как один мощный компьютер. Любые ресурсы (модемы, диски, принтеры) могут быть добавлены к системе простым подключением к любой машине в сети. QNX поддерживает одновременную работу в сетях Ethernet, Arcnet, Serial и Token Ring и обеспечивает более чем один путь для коммуникации, а также балансировку нагрузки в сетях. Если кабель или сетевая плата выходят из строя и связь прекращается, то система будет автоматически перенаправлять данные через другую сеть. Это предоставляет пользователю автоматическую сетевую избыточность и увеличивает скорость и надежность коммуникаций во всей системе.

Средства технологического программирования контроллеров

Специфика работы с контроллерами по сравнению с обычными офисными компьютерами состоит не только в ориентации на работу с платами ввода-вывода, но и в преимущественном использовании языков технологического программирования. Как правило, на промышленных предприятиях с контроллерами работают не программисты, а технологи, хорошо знающие специфику объектов управления и технологического процесса. Для описания процессов обычно используются такие языки, как язык релейно-контактных схем, функциональных блоков и так далее, теоретические основы которых взяты из методов автоматического управления. Накопленный многими фирмами опыт был обобщен в виде стандарта IEC 1131-3 [1], где определены пять языков программирования контроллеров: SFC - последовательных функциональных схем, LD - релейных диаграмм, FBD - функциональных блоковых диаграмм, ST- структурированного текста, IL -инструкций.

Важно отметить, что использование данного стандарта полностью соответствует концепции открытых систем, а именно, делает программу для контроллера независимой от конкретного оборудования - ни от типа процессора, ни от операционной системы, ни от плат ввода-вывода. В настоящее время программы многих фирм поддерживают этот стандарт:

ACCON-Prosys 1131 (фирма DeltaLogic), Open DK (фирма infoteam Software GmbH), Multiprog (фирма KW Software), NAiS Control (Matsushita Automation Controls) и др. Наиболее известной реализацией этого стандарта является пакет ISaGRAF фирмы CJ International, включающий систему разработки (WorkBench) и систему исполнения (Target). Если первая используется для создания, моделирования, тестирования и документирования прикладных программ, исполняемых под управлением ядра ISaGRAF, то вторая загружается извне либо записывается в ПЗУ. По данным организации PLCopen, в настоящее время программа, созданная с помощью ISaGRAF, может быть загружена и исполнена на процессорах Intel и Motorola под управлением операционных систем DOS, OS-9, QNX, iRMX, Lynx, pSOS, OS-9000, VMEexec, VRTX, VxWorks, Windows NT. Основными достоинствами ISaGRAF являются простой, интуитивно понятный для технолога графический интерфейс, встроенные средства отладки, моделирования, тестирования и документирования программ, поддержка промышленных сетей (Profibus, Modbus).

Пример реализации контроллеров

В качестве примера контроллера, построенного на базе концепции открытых систем рассмотрим контроллер CS104 фирмы Steinhoff. Это компактный, модульный и PC-совместимый компьютер, который может комплектоваться оборудованием любой фирмы, поставляющей платы в формате PC/104, в том числе платы ввода-вывода, жесткие или гибкие диски, PC-карты, флэш-память и т. д. Базовый комплект контроллера фирмы Steinhoff: процессорный модуль, включающий сам процессор, 4-Мбайт динамическое ОЗУ, интерфейсы для клавиатуры, мыши, два последовательных и один параллельный порт, IDE/FDD, 128-Кбайт флэш-памяти, таймер реального времени, сторожевой таймер, Ethernet. Для ОС QNX обеспечивается удаленная загрузка по сети. По усмотрению пользователя контроллер CS104 может быть укомплектован одним из следующих интерфейсов для промышленных сетей: Profibus, CAN, InterBus-S, LonWorks, II/O Lightbus, к каждому из которых поставляются драйверы, работающие в QNX. Для технологического программирования используется пакет ISaGRAF с исполнительной системой для ОС QNX. Такая архитектура ПО позволяет на работающей системе осуществлять удаленное программирование (на технологических языках IL, ST, FB, SFC, LD) и отладку в защищенном режиме элементов приложения, обслуживающих отдельные 32-разрядные задачи рабочего процесса, что гарантирует высокую надежность работы системы в целом.

Взаимодействие со SCADA-системами обеспечивают драйверы для нескольких пакетов, таких как RealFlex, Sitex и др. [2]. Таким образом, контроллер CS104 позволяет построить систему АСУ ТП с использованием стандартных компонентов, обладающую модульностью и масштабируемостью, т. е. в полной мере соответствующую концепции открытых систем.

Программируемые логические контроллеры

В современной автоматике нашли широкое применение программируемые логические контроллеры (ПЛК), на которых реализуется логическое управление технологическим оборудованием разного назначения.

Микропроцессоры

Программируемый логический контроллер (ПЛК) представляет собой специализированный вычислитель на базе микропроцессора, предназначенный для управления технологическими процессами и различным оборудованием в реальном масштабе времени. Он является универсальным техническим средством, позволяющим в кратчайшие сроки создавать технические комплексы для различных областей применения.

Под термином «микропроцессор» обычно понимают часть аппаратного обеспечения компьютера или программируемого логического контроллера, отвечающую за выполнение логических и арифметических операций и координирующую работу всех устройств компьютера (контроллера). Микропроцессор в большой степени унаследовал архитектуру циклической обработки данных, разработанную еще в 1946 году Нейманом.

Устройство любого микропроцессора (МП) предполагает наличие следующих основных элементов (рис. 66):

- арифметико-логическое устройство — АЛУ — со сдвиговыми регистрами РгА и РгВ, регистром-аккумулятором АКК и регистром признаков результата — РПР. На АЛУ возлагается задача выполнения логических и арифметических операций в соответствии с кодом операции, поступившим от устройства управления. Регистры сдвига и регистр-аккумулятор обеспечивают временное хранение данных при последовательной загрузке нескольких операндов и при необходимости выполнения рекурсий;
- для промежуточного хранения информации предусмотрены регистры общего назначения — РОН;
- управление потоком команд и данных реализуется через счетчик команд СК, регистр стека РСт, регистр адреса АДР и буферные регистры — буфер данных (БФД) и буфер адреса;
- взаимодействие всех элементов МП, дешифровку команд и выработку кода операции КОП для АЛУ обеспечивает устройство управления — УУ. Оно же обеспечивает взаимодействие с внешними элементами контроллера — синхронизацию от тактового генератора, обнаружение прерываний и реакции на них;
- между элементами МП данные и команды транспортируются через внутреннюю магистраль М.

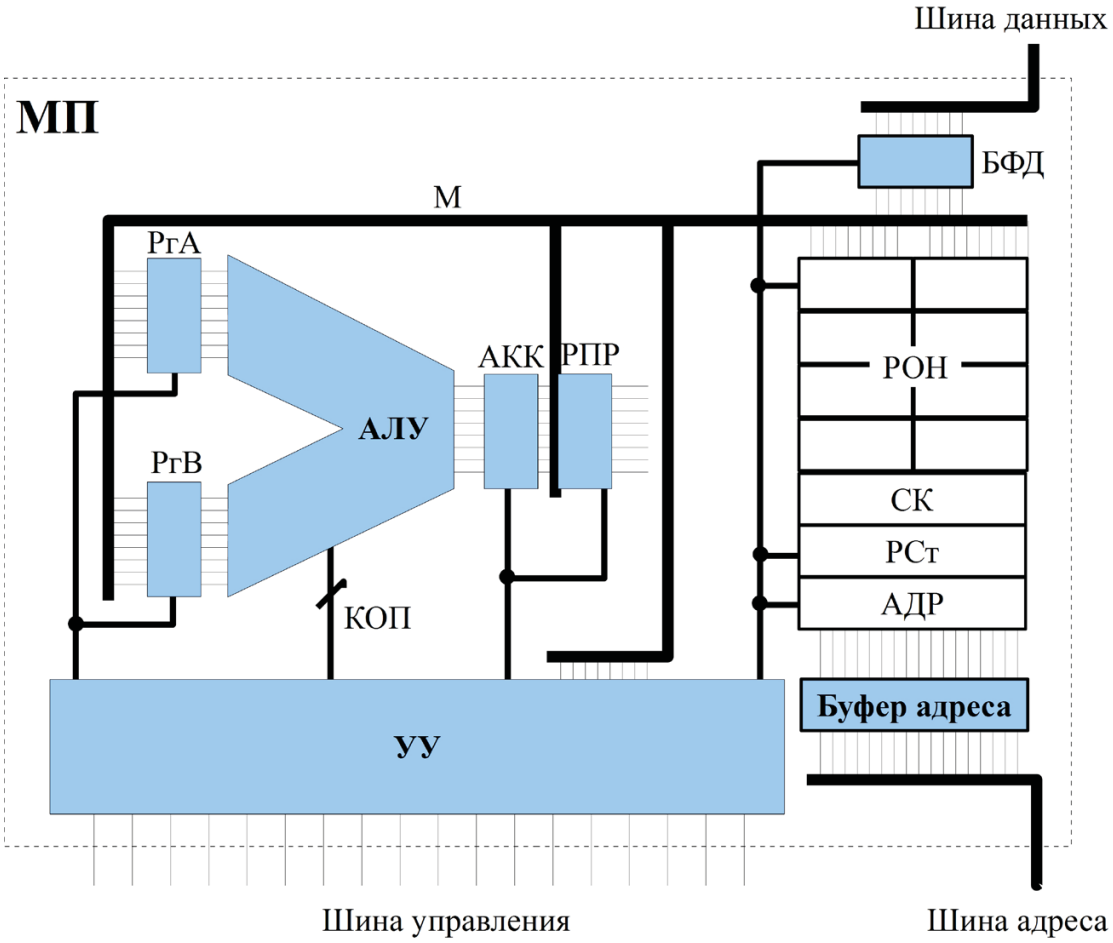


Рис. 66. Архитектура микропроцессора

Циклический процесс последовательной обработки данных с использованием приведенной архитектуры осуществляется следующим образом.

1. Число, находящееся в счетчике команд СК, переписывается в регистр адреса АДР. УУ через буфер адреса устанавливает это число на шину адреса и выставляет в шину управления сигнал чтения памяти.
2. Память, получив адрес и сигнал чтения, переписывает число, находящееся по данному адресу, на шину данных и выставляет сигнал готовности, по которому число фиксируется в регистре буфере данных БФД.
3. УУ читает число из буфера данных и анализирует его. Если это код команды, то из него выделяется код операции КОП и устанавливается на управляющем входе АЛУ. Если это операнды команды (данные), то они фиксируются в регистрах РгА и РгВ.
4. Когда данные готовы, УУ дает сигнал готовности АЛУ, по которому АЛУ выполняет операцию, код которой уже установлен, над данными, содержащимися в регистрах сдвига РгА и РгВ.
5. Результат записывается в регистр-аккумулятор, в регистре признаков устанавливаются важные признаки результата: переполнение, необходимость переноса, признак нулевого результата, признак

отрицательного результата и другие. Для каждого признака в РПР отводится один бит с фиксированным номером.

6. По признакам результата может быть осуществлено разветвление выполнения последовательности команд. Если последняя команда является командой перехода, то при выполнении условия перехода вычисляется адрес перехода и его уменьшенное на единицу значение устанавливается в счетчик команд СК.
7. СК увеличивается на единицу: СК = СК + 1. Это означает выборку следующего адреса при отсутствии перехода или первого адреса новой последовательности команд при выполнении команды перехода.
8. Снова выполняется п. 1.

Этот цикл выполняется бесконечно с момента подачи питания в МП до выключения. Цикл может разветвляться по запросам внешних устройств — аппаратным прерываниям. По окончании обработки прерывания циклический процесс продолжается с той команды, перед которой произошло прерывание. Время выполнения каждого шага цикла определяется тактовой частотой процессора, задаваемой внешним по отношению к МП тактовым генератором, вырабатывающим непрерывную последовательность прямоугольных импульсов. Изменяя частоту генератора, можно влиять на быстродействие МП. Однако собственные свойства МП, емкости и индуктивности внутренних проводников, быстрота срабатывания транзисторов не позволяют сильно менять тактовую частоту, а, следовательно, и быстродействие.

Развитие МП идет по пути увеличения разрядности данных и команд, изменения систем команд как в сторону усложнения, так и в сторону сокращения набора команд, увеличения числа ядер процессора, выполняющих параллельно несколько таких циклов одновременно. Однако принцип работы, заложенный архитектурой Дж. фон Неймана, остается прежним.

1.6.3 Электронные регуляторы температуры

Электронный регулятор ECL Comfort (рис. 6.59) – устройство, которое воспринимает сигналы от всевозможных датчиков (температуры наружного воздуха, внутреннего воздуха, теплоносителя, горячей воды и т. д.), обрабатывает и формирует на их основании сигнал, передаваемый исполнительному механизму. Он имеет тиристорные выходы для управления регулирующими клапанами и релейные выходы для управления насосами либо запорными клапанами. Кроме того, у некоторых моделей могут быть расширены характеристики входов и выходов путем добавления аналоговых и релейных модулей.

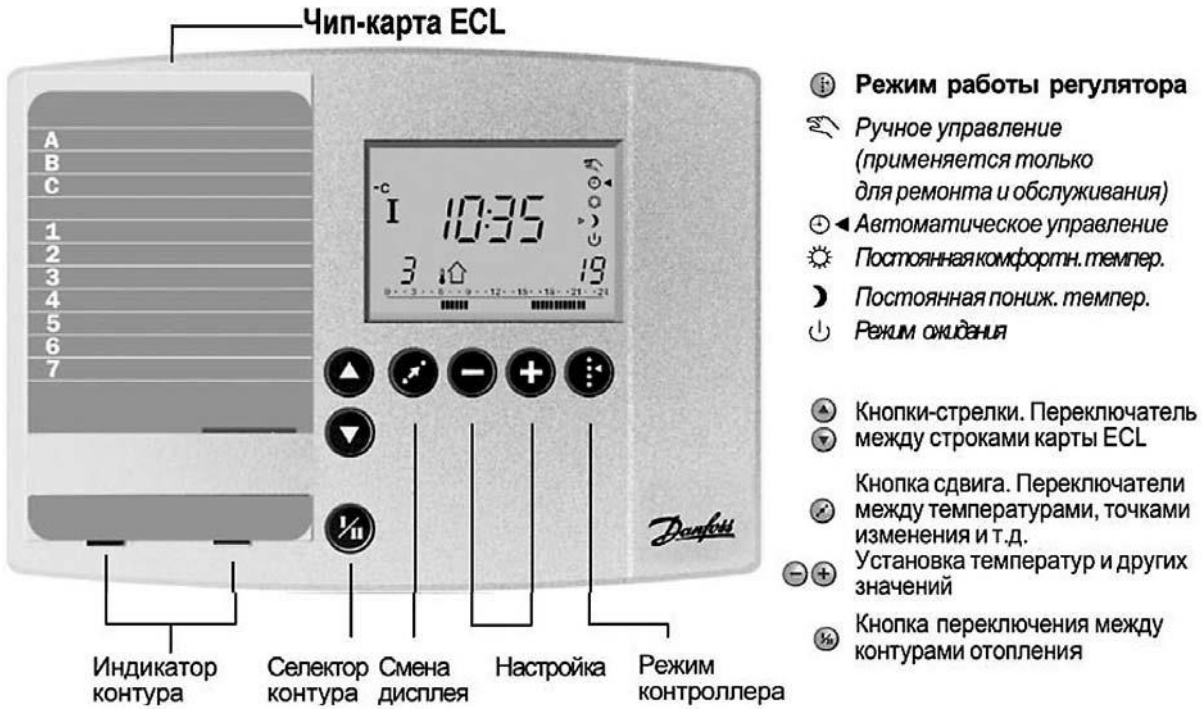


Рис. 6.59. Общий вид электронного регулятора ECL Comfort 300 с чип- картой и указанием потребительских настроек

Номенклатура ECL Comfort охватывает как очень простые регуляторы с традиционным аналоговым управлением, так и современные регуляторы с полностью цифровым интерфейсом. Ими можно управлять любыми водяными инженерными системами зданий и различными их комбинациями. Для упрощения управления и установки сложных и совершенных функций применена технология интеллектуальной чип-карты. Чип-карта является съемной. Ее программируют по параметрам, типу и особенностям инженерных систем конкретного здания.

Электронный регулятор ECL Comfort разработан как для настенного, так и для щитового исполнения. Устанавливают его в помещении теплового пункта. Пользовательские установки осуществляют при помощи кнопок на регуляторе (рис. 6.59) либо блока дистанционного управления ECA61 (рис. 6.58). Интересуемые параметры установки отображаются на дисплее. Кроме того, ECL Comfort могут устанавливать связь посредством RS 232 и LON. Такая возможность позволяет дистанционно контролировать и управлять его работой. По стандартному протоколу LONTalk® электронный регулятор ECL Comfort могут применять в зданиях с централизованной системой управления и контроля.

Кроме указанных выше возможностей, электронные регуляторы осуществляют:

- функцию оптимизации энергопотребления объекта регулирования;
- отображение времени с автоматическим переходом на летнее и зимнее время;
- ограничение температуры в подающем и обратном

трубопроводах с учетом погодных условий;

- ограничение максимальной и минимальной температуры теплоносителя;
- защиту системы от замораживания;
- автоматическое отключение системы отопления;
- автоматическое изменение настроек ночного снижения темпера туры в зависимости от погодных условий;
- обеспечение приоритета системы горячего водоснабжения и зарядку бака-аккумулятора;
- контроль температуры воды в системе горячего водоснабжения;
- управление работой насоса (задержка запуска, остановки и защита от залипания);
- защиту электроприводов клапанов от колебательных движений при низких нагрузках;
- автоматическую настройку системы горячего водоснабжения со скоростным теплообменником (достаточно открыть водоразборный кран, нажать кнопку, и в течение 7...15 мин произойдет самонастройка регулятора);
- аварийную сигнализацию.

Питание электронных регуляторов осуществляют от сети переменного тока 220 В или 24 В. Они имеют встроенные аккумулятор для поддержки работы часов при отсутствии основного питания.

Электронным регулятором реализуют эффективное управление инженерными системами здания с максимальным энергосбережением.

Глава 2 Управление и автоматизация систем вентиляции и кондиционирования воздуха гражданского здания

Введение

Системы вентиляции и кондиционирования воздуха создают необходимый микроклимат и качество воздушной среды в помещениях.

Главными задачами автоматизации вентиляционных систем являются обеспечение в помещениях в заданных точках системы требуемой температуры, подвижности, чистоты воздушной среды и необходимого воздухообмена при экономном расходовании тепловой и электрической энергии.

На привод вентиляторов общепромышленного и специального назначения расходуется не менее 8 % всей вырабатываемой в стране электроэнергии, и это ставит дополнительные задачи перед автоматизацией вентиляционных систем.

Тема 1 «Системы вентиляции и кондиционирования воздуха как объекты управления». Классификация систем вентиляции и кондиционирования воздуха. Основные компоновочные схемы СКВ. Термодинамическая модель СКВ. Функциональные схемы СКВ.

2.1.1 Классификация систем вентиляции и кондиционирования воздуха.

Системы вентиляции и кондиционирования (СВК) классифицируются по следующим признакам:

- в зависимости от способа, вызывающего движение воздуха: естественные (гравитационные) и искусственные (с механическим побуждением);
- по назначению на приточные, вытяжные и смешанные;
- по зоне обслуживания на обще обменные и местные;
- по конструктивному исполнению на канальные и бесканальные.

Таблица 13.

Предельные значения допустимых параметров внутренней среды помещений с постоянным пребыванием людей [ДБН В.2.2– 9– 99]

Параметры	Единица измерения	Предельные значения			
		зимой		летом	
		не менее	не более	не менее	не более
Температура воздуха	°С	18	22	-	28
Разность температур, измеренная:	°С	-	3	-	-
• у потолка и пола		-		-	-
• в разных точках на одном уровне		-	3	-	-
• в воздухе и на поверхности стен		-	3	-	-
• в воздухе и на поверхности окна		-	16	-	-
Температура пола	°С	16,5	26	18	-
Температура потолка	°С	16	30	21	-
Относительная влажность воздуха	%	30	45	30	65
Скорость воздуха	м/с	-	0,2	-	0,5
Концентрация нетоксичной пыли	мг/м^3	-	0,15	-	0,15

Системы с естественной вентиляцией конструктивно просты, реализуются на дешевом оборудовании, не требуют больших эксплуатационных затрат. Зависимость эффективности этих систем от внешних факторов (температуры наружного воздуха, направления и скорости ветра), а также небольшое давление не позволяют решать весь комплекс задач в вентиляции.

От этого недостатка свободны системы с механическим побуждением, которые перемещают воздух вентиляторами. Дополнительно происходит очистка, нагрев, охлаждение, увлажнение, осушение. Она делится на местную и общеобменную.

Местная вентиляция подает воздух на определенные места (приточная) или удаляет загрязненный воздуха из мест образования вредных выделений (вытяжная).

Если местной вентиляцией не удается обеспечить санитарно–гигиенические или технологические требования, применяют общеобменные системы вентиляции. Общеобменные вытяжные системы равномерно удаляют воздух из всего помещения, а приточные подают и распределяют

воздух по всему объему вентилируемого помещения. Обе системы могут функционировать одновременно при условии баланса по расходу воздуха.

Если воздух, подаваемый в помещение, образуется смешиванием наружного воздуха и воздуха, удаляемого из помещения, то такая система называется приточно– рециркуляционной.

Системы вентиляции, подающие и удаляющие воздух по каналам или воздуховодам, называют канальными, а не имеющие каналов - бесканальными.

Разновидности систем кондиционирования

Системы кондиционирования классифицируются по:

- наличию источников тепла и холода: автономные и неавтономные;
- принципу расположения системы кондиционирования относительно обслуживаемого объекта: центральные и местные;
- количеству обслуживаемых помещений: однозональные и многозональные;
- типу обслуживаемых объектов: бытовые, полупромышленные и промышленные.

Автономные СКВ содержат весь комплекс оборудования обработки воздуха в соответствии с нормативными требованиями по очистке, нагреванию и прочим параметрам, а также средства автоматического и дистанционного управления и контроля. Для работы автономной СКВ необходима только электроэнергия. К автономным СКВ относятся моноблочные оконные и шкафные кондиционеры, сплит– системы.

Неавтономные СКВ не имеют встроенных источников тепла и холода. Используют при работе другие источники тепло– и холодоснабжения, от которых поступает холодные или горячие агенты (вода, фреоны).

Центральные СКВ располагаются вне обслуживаемых помещений и реализуются как неавтономные кондиционеры для подготовки воздуха с последующим его распределением по помещениям с помощью воздуховодов.

Многозональные СКВ обслуживают несколько помещений или помещения с неравномерным распределением тепло– и влаговыделений.

Бытовые кондиционеры предназначены для установки в жилых домах, офисах и на аналогичных объектах. Питаются от однофазной сети и имеют мощность потребления не более 3 кВт.

Холодопроизводительность полупромышленных кондиционеров достигает 300 кВт. Имеют преимущественно трехфазное питание.

Промышленные кондиционеры имеют производительность более 30 кВт и предназначаются для установки в производственных помещениях.

2.1.2 Основные компоновочные схемы СКВ

Вентиляционная система содержит приточный вентилятор, который забирает воздух с улицы и подает в помещение. Вытяжной вентилятор работает наоборот. При его отсутствии воздух удаляется через щели и не плотности в помещениях или по вытяжному воздуховоду.

Вентиляторы делятся на две разновидности:

- вентиляторы, вал которых соединен с осью двигателя ременной передачей;
- вентиляторы с крыльчаткой на валу двигателя.

Во втором случае заклинивание вентилятора или двигателя однозначно приводит к срабатыванию тепловой защиты, которая обычно находится в цепи управления пускателем вентилятора. Выявляется контролем блок-контакта пускателя.

Отказ двигателя без увеличения токов выявляет сигнализатором перепада давления: при неработающем вентиляторе разница давлений на его входе и выходе близка к нулю. Контроль по перепаду давления выгоден возможностью контроля состояние фильтров.

Вентиляторы и фильтры рекомендуется контролировать установкой перепадомеров.

Для управления расходом воздуха необходимо применять частотный преобразователь, который дополнительно обеспечивает энергосбережение.

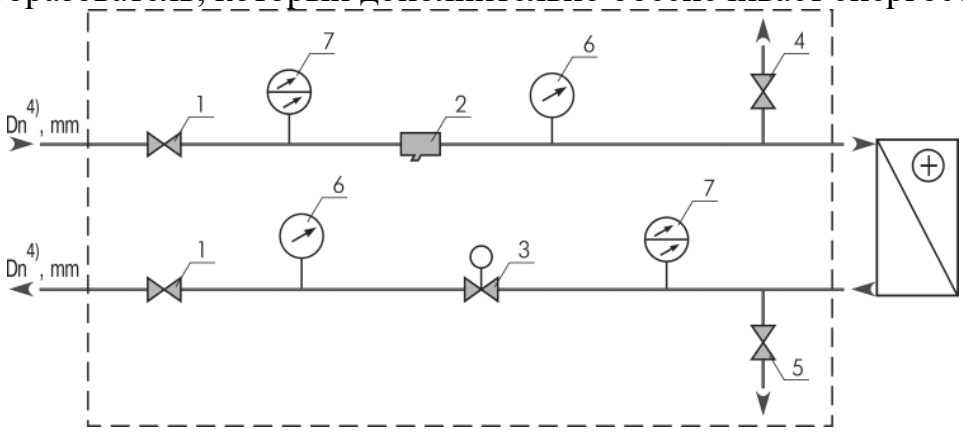


Рис. 1. Схема без насоса

1 – кран шаровый 2 – фильтр сетчатый, 3 – клапан регулирующий двухходовой 4 – кран шаровый для выпуска воздуха 5 – кран шаровый для спуска воды 6 – манометр показывающий, 7 – термоманометр показывающий

В составе схемы применен двухходовой регулирующий клапан в обратном трубопроводе. Это максимально удешевляет схему, но при прикрытии клапана повышается давление на теплообменник и его гидравлическая нагрузка. Выполняется количественное регулирование, единственный плюс схемы низкие начальные капиталовложения.

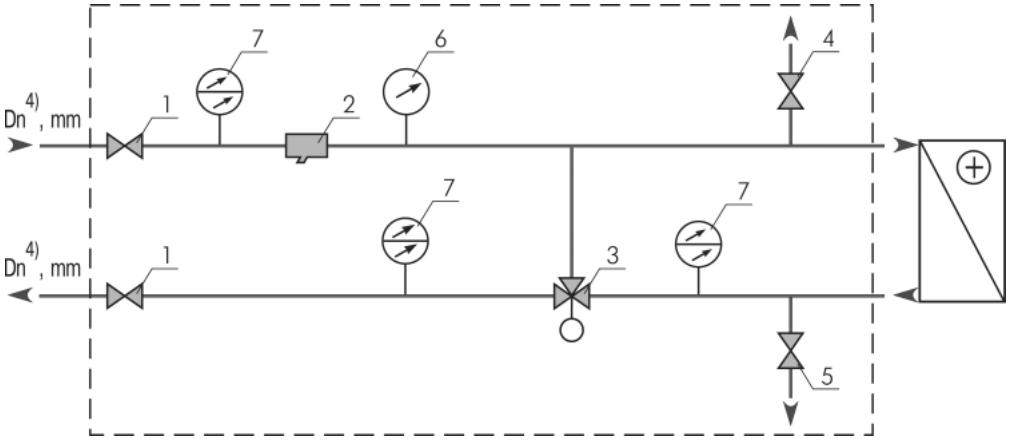


Рис. 2. Схема с узлом обвязки

1 – кран шаровый 2 – фильтр сетчатый, 3 – клапан регулирующий трехходовой 4 – кран шаровый для выпуска воздуха 5 – кран шаровый для спуска воды, 6– манометр показывающий, 7 – термоманометр показывающий

В состав обратного трубопровода введен трехходовой регулирующий клапан. При прикрытии клапана повышается давление на теплообменник и его гидравлическая нагрузка. Регулирование количественное: часть воды, минуя теплообменник, возвращается в обратный трубопровод.

Преимущество данной схемы: перед разделением потоков расход теплоносителя и его температура постоянны вне зависимости от количества воды через воздухонагреватель, а зависит от источника. Тем самым резко падают риски размораживания теплообменника.

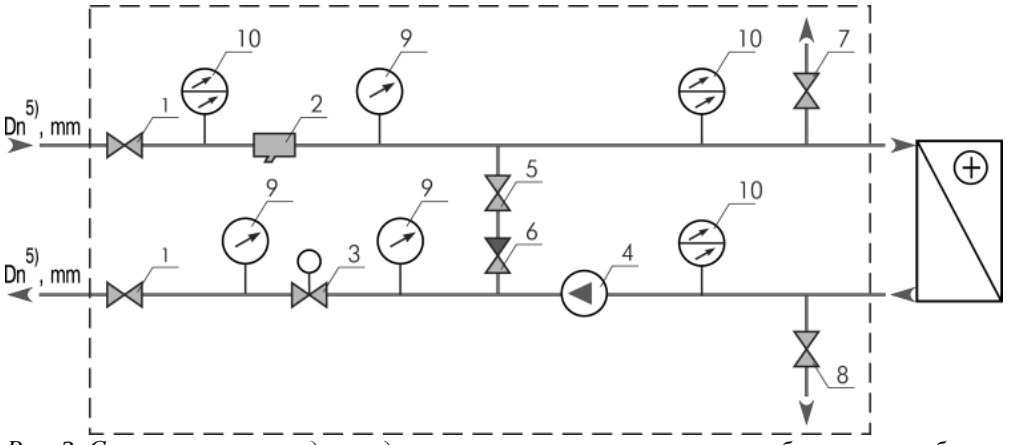


Рис. 3. Схема с насосом и двухходовым регулирующим клапаном в обратном трубопроводе

1 – кран шаровый, 2 – фильтр сетчатый, 3 – клапан регулирующий двухходовой 4 – насос циркуляционный, 5 – вентиль регулировочный 6 – клапан обратный, 7 – кран шаровый для выпуска воздуха, 8 – кран шаровый для спуска воды, 9 – манометр показывающий, 10 – термоманометр показывающий.

В этой схеме насос можно установить в подающем трубопроводе. При открытии клапана обратный теплоноситель поступает по перемычке в подающий трубопровод, что понижает температуру воды на входе воздухонагревателя. Переносом клапана в подающий трубопровод (до точки смешения) можно решить вопрос гидравлической нагрузки на теплообменник.

Через теплообменник обеспечен постоянный расход воды, температуру которой регулируют изменением количества подмешиваемого обратного

теплоносителя, т.е. обеспечивается качественное регулирование. Риски размораживания теплообменника уменьшается. Недостаток схемы - отсутствие постоянного расхода перед точкой смешения, т.е. зависимость температуры подачи от расхода через теплообменник.

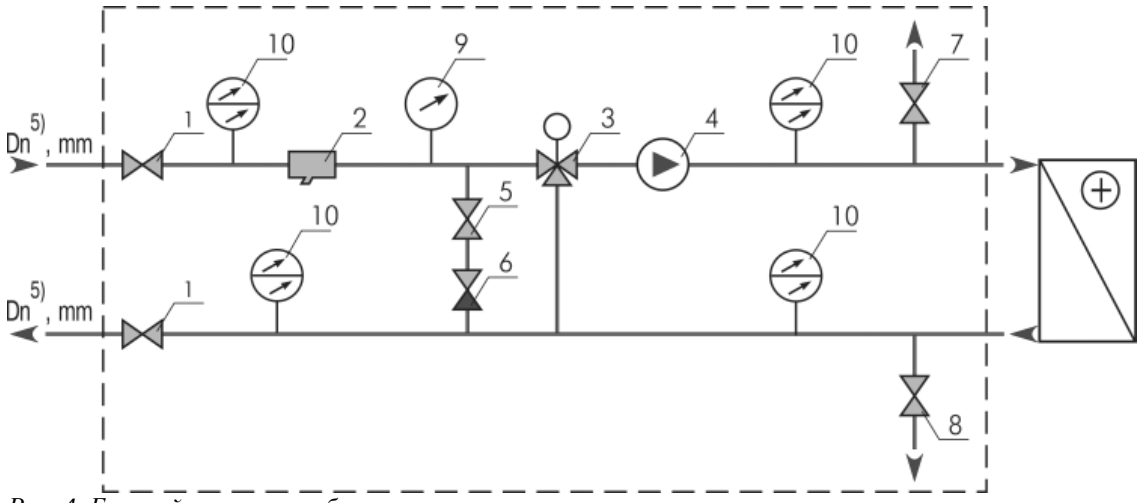


Рис. 4. Европейская схема обвязки

1 – кран шаровый, 2– фильтр сетчатый, 3 – клапан регулирующий двухходовой 4 – насос циркуляционный, 5 – вентиль регулировочный 6 – клапан обратный, 7 – кран шаровый выпуска воздуха, 8 – кран шаровый спуска воды, 9 – манометр, 10 – термоманометр

Схема законодательно разрешена для применения в Европе. Постоянный расход воды через теплообменник обеспечивает качественное регулирование. Перемычка до трехходового клапана задает стабильную температуру перед узлом смешения. При правильной настройке системы полностью исключена опасность размораживания теплообменника.

2.1.3 Термодинамическая модель СКВ

Кондиционированием воздуха называется совокупность технологических операций в процессе подготовки воздуха перед подачей его в помещение. Для выбора технологии тепло-влажностной обработки воздуха необходимо определить начальные параметры наружного воздуха и требуемые параметры внутреннего воздуха обслуживаемого помещения.

Параметры наружного воздуха (НВ) меняются в течение суток и года в большом диапазоне.

Температура воздуха устанавливается в результате действия потоков лучистой теплоты от Солнца и теплового противоизлучения земной поверхности. Ежегодно поверхность Земли получает от Солнца около 20· 1010кДж лучистой энергии, половина которой тратиться на испарение воды. Лучистая энергия, воспринимаемая поверхностью Земли, составляет 51 % общей нагрузки, и, соответственно, равна 174 Вт/м2. Величина отраженной радиации 103 Вт/м2 (30 %). Скрытая тепловая нагрузка, переносимая водяным паром в атмосфере (преимущественно облаками), 79 Вт/м2 (23%). Распределение теплового потока солнечной энергии на единицу поверхности зависит от географической широты.

Максимальные значения температуры воздуха на континентах могут превышать 50 °С (57 °С - США (Калифорния, долина Смерти); 58 °С в Ливии (г. Элъ-Азизия). Это амплитудные значения. Если говорить о среднегодовой температуре, то самое высокое значение 34,4 °С наблюдается в местности Далол (Эфиопия), а самое низкое в России (Якутия, Оймяконская впадина): - 50 °С.

Диапазон амплитудных значений относительной влажности: 10 ...100 %. Основным источником влаги в атмосфере являются экваториальные зоны океанов. В атмосфере Земли происходит непрерывная циркуляция масс воздуха и воды. При этом роль парового котла выполняет экваториальная зона, топлива - Солнце, конденсационных аппаратов - полюса, а Земля представляет собой замкнутую дистилляционную установку. Количество водяных паров в атмосфере в тропических широтах значительно больше, чем в полярных зонах, примерно в 100 раз.

Максимальная среднегодовая относительная влажность наблюдается в Индонезии на острове Суматра - 93%, в Бразилии в бассейне реки Амазонка - 90 %. Минимальное среднегодовое значение - 28 % в Судане (г. Хартум).

В приземном пространстве атмосферы влажность воздуха зависит от географической широты местности, температурного и ветрового режима, количества осадков, удаленности территории от водоемов, морей и океанов.

Кондиционирование воздуха в помещениях должно быть обеспечено в любых климатических зонах в широком диапазоне изменений параметров наружного воздуха.

Для выбора технологии обработки наружного (приточного) воздуха с исходными параметрами, с целью получения требуемых параметров внутреннего воздуха в обслуживаемом помещении, при минимальных расходах электрической и тепловой энергии, применяется id-диаграмма.

Процесс обработки воздуха по выбранной технологии называется термодинамической моделью системы кондиционирования воздуха (ТДМ).

Т.к. параметры НВ меняются в определенном диапазоне в течение времени (t), их можно представить в виде многомерной функции $X_н = x_н(t)$. Соответственно, совокупность параметров приточного воздуха есть многомерная функция $X_{пр} = x_{пр}(t)$, а в обслуживаемом помещении $X_{пом} = x_{пом}(t)$ (параметры в рабочей зоне). Переменное состояние системы X это ее обобщенные показатели в различных точках пространства и в различные моменты времени.

Технологический процесс обработки НВ это аналитическое или графическое описание процесса движения многомерной функции от $X_н$ к $X_{пр}$ и далее к $X_{пом}$. Термодинамическую модель движения функции $X_н$ к $X_{пом}$ строят на i-d диаграмме, а затем определяют алгоритм обработки воздуха, необходимое оборудование и способ автоматического регулирования параметров воздуха.

Построение ТДМ начинают с нанесения на i-d–диаграмму состояния наружного воздуха данного географического пункта. Состояние воздуха характеризуется: температурой t[°С], удельной энтальпией

(теплосодержанием) i [кДж/кг], влажностью относительной φ [%] или влагосодержанием d [г/кг].

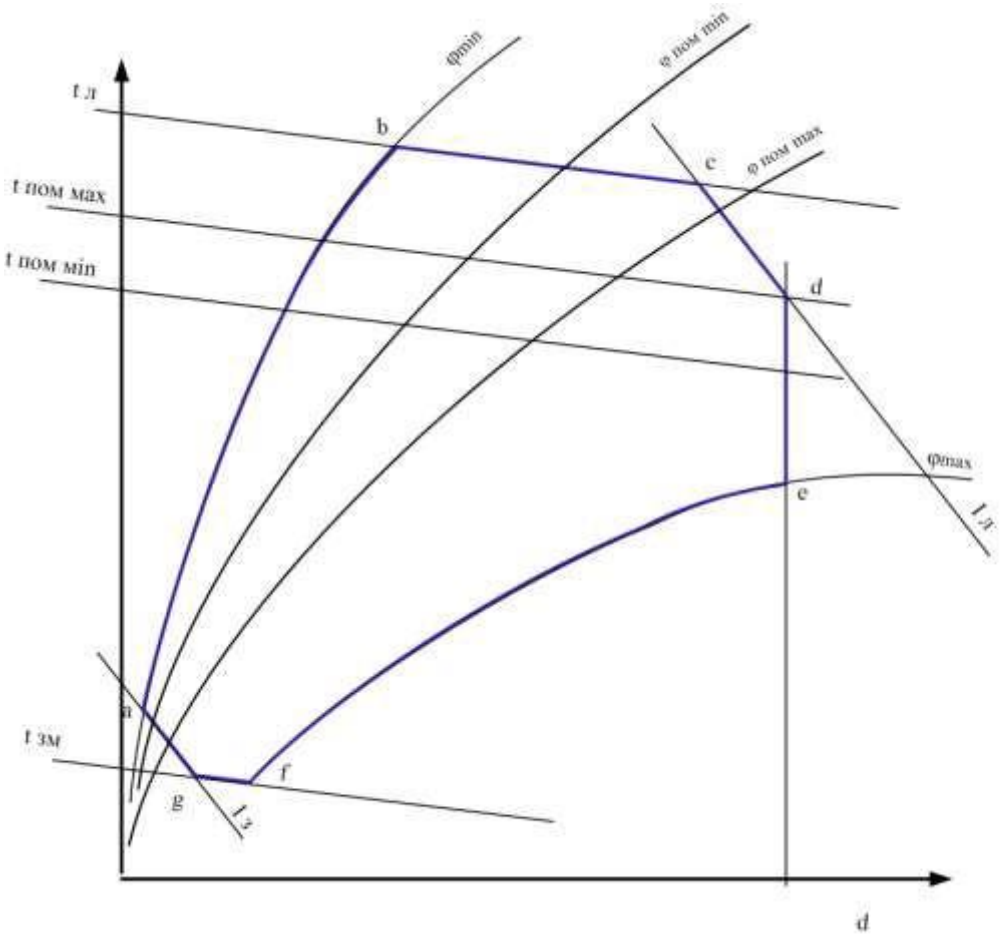


Рис. 1 Расчетная область возможных состояний наружного воздуха

Расчетная область возможных состояний наружного воздуха принимается по СП 131.13330.2018 п.10 (параметры Б). Верхней границей (Рис.1) является изотерма $t_л$ и изоэнтальпа $i_л$ (предельные параметры теплого периода года). Нижней границей является изотерма $t_{зм}$ и изоэнтальпа $i_{зм}$ (предельные параметры холодного и переходных периодов года). Границей справа является предельное значение влагосодержания. Получилась зона на i-d-диаграмме, в пределах которой заключены значения многомерной функции возможных параметров наружного воздуха (многоугольник abcdef).

Далее, на i-d-диаграмму необходимо нанести требуемое (расчетное) значение состояния воздуха в обслуживаемом помещении или в его рабочей зоне. Расчетная область возможных состояний наружного воздуха принимается по ГОСТ 30494-2011. Она может быть в виде трапеции для комфортных условий в рабочей зоне или в виде точки для прецизионного кондиционирования. Для рабочей зоны вершинами трапеции будут точки, образующиеся за счет пересечения 2-х или более линий оптимальных параметров внутреннего воздуха (минимального и максимального по ГОСТ 30494-2011 табл.3), например, температуры и относительной влажности

(Рис.2).

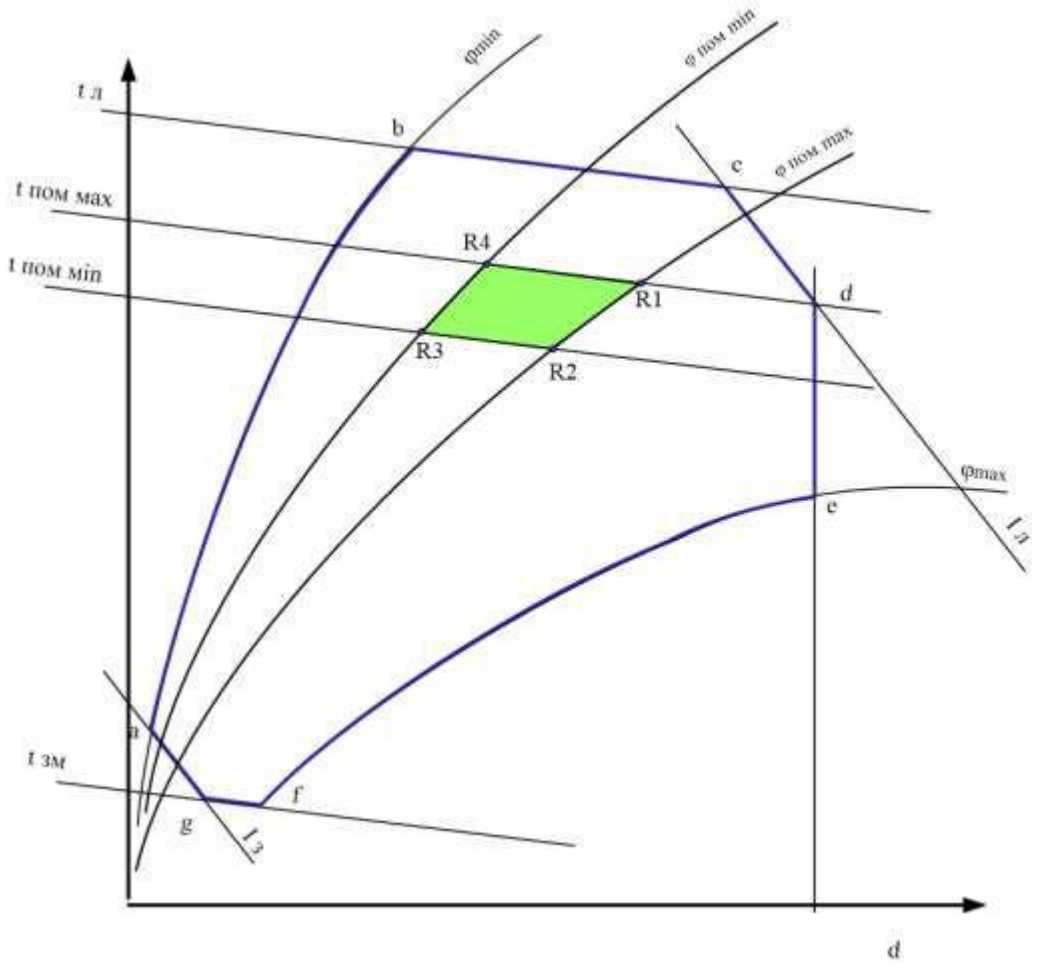


Рис.2 Зона требуемых значений параметров внутреннего воздуха ОП.

В нашем случае значения требуемых параметров рабочей зоны лежат в зоне трапеции с вершинами R1, R2, R3, R4.

Затем рассчитывается угловой коэффициент изменения параметров воздуха в помещении ε и проводят лучи процесса через вершины трапеции, которые, фактически, являются граничными параметрами рабочей зоны. При отсутствии данных о тепло-влажностном процессе в помещении ориентировочно ε можно принять в кДж/кг: предприятия торговли и общественного питания — 8500–10000; зрительные залы — 8500–10000; квартиры — 15000–17000; офисные помещения — 17000–20000 (Рис.3).

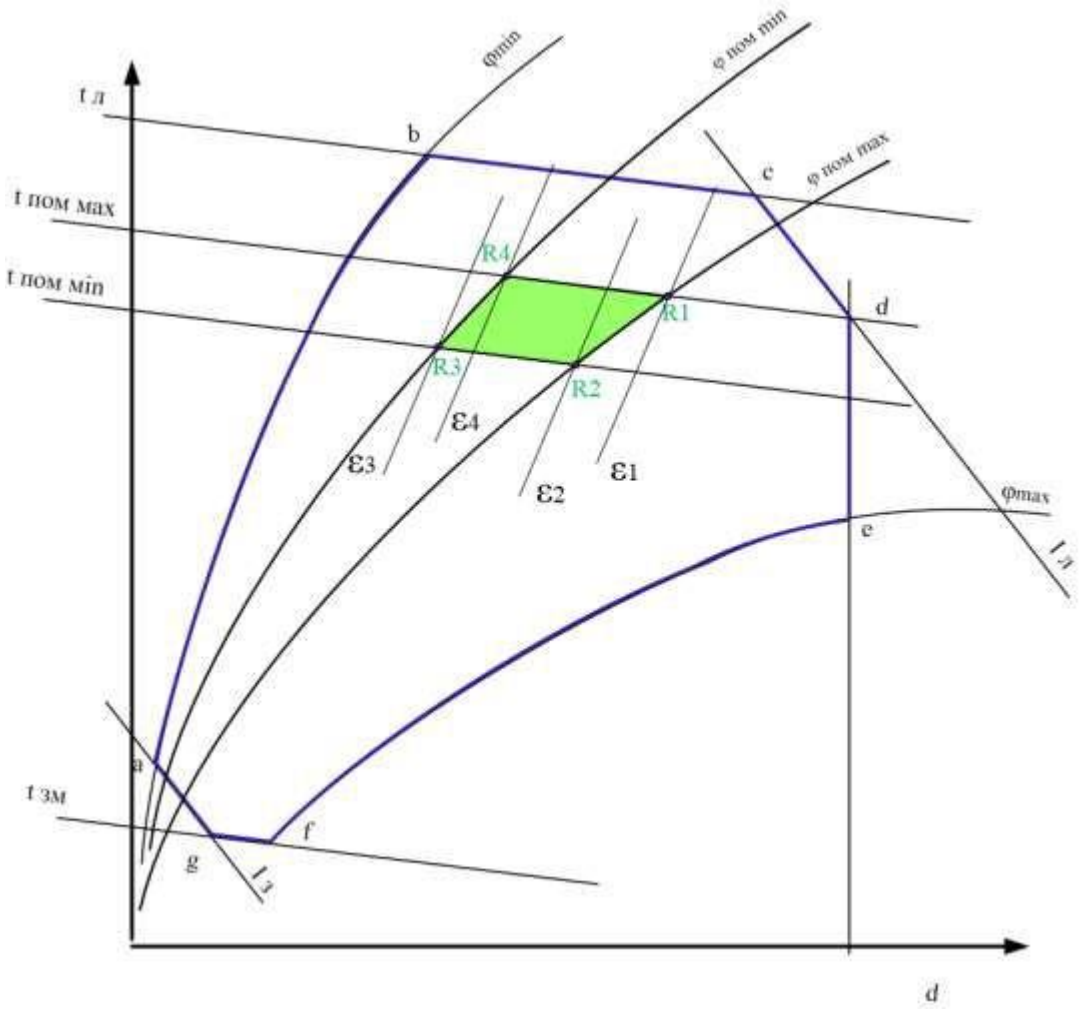


Рис.3 Построение лучей процесса ε

После этого строится зона параметров приточного воздуха. Для этого на линиях ε проведенных из граничных точек зоны R1, R2, R3, R4

Откладывают отрезки, соответствующие расчетному, перепаду температур: $\Delta t = t_{пом} - t_{пр}$,

где: $t_{пом}$ – требуемая температура рабочей зоны, $t_{пр}$ — расчетная температура приточного воздуха.

Решение задачи сводится к переводу параметров воздуха из многомерной функции $X_н$ к функции $X_{пом}$. Величину Δt принимают по нормам или рассчитывают, исходя из параметров системы холодоснабжения (Рис.4).

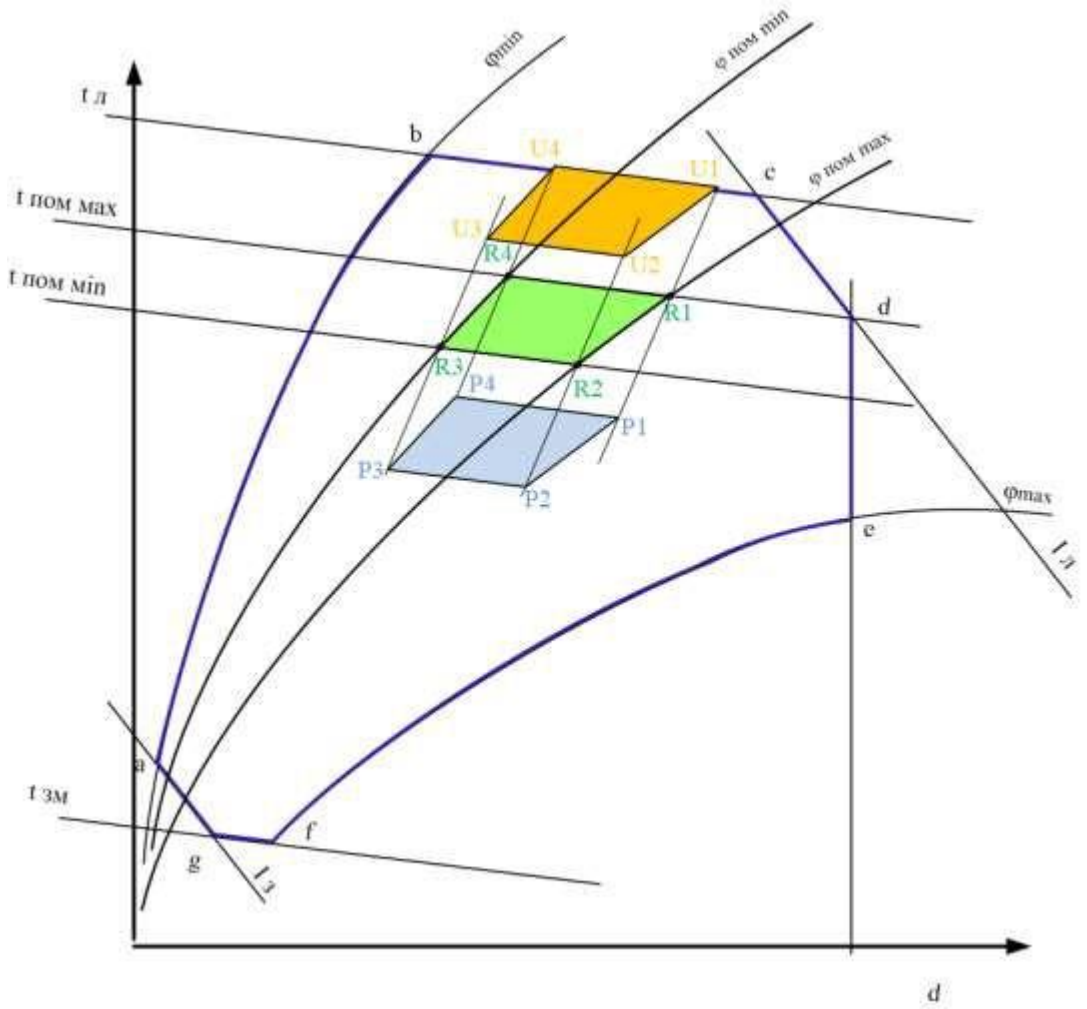


Рис.4 Построение зон расчетных параметров приточного P1, P2, P3, P4 и удаляемого U1, U2, U3, U4 воздуха

Например, при использовании воды в качестве хладоносителя конечная температура воды в камере орошения t_w составит: $t_w = t_2 + \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3$,

где t_1 — температура воды на выходе чиллера (5–7°C); Δt_1 — повышение температуры воды в трубопроводе от холодильной машины до водяного теплообменника кондиционера (1°C); Δt_2 — нагрев воды в камере орошения (2–3°C); Δt_3 — нагрев воды за счет коэффициента байпассирования (1°C). Таким образом, температура воды, контактируемой с воздухом, будет t_w = 9–12°C. Практически влажность воздуха достигает величины не более φ = 95 %, что повышает t_w до 10–13 °C. Температура приточного воздуха будет: $t_w = t_2 + \Delta t_2 + \Delta t_3 + \Delta t_4$,

где Δt_4 — нагрев воздуха в вентиляторе (1–2°C); Δt_5 — нагрев воздуха в приточном воздуховоде (1–2°C). Таким образом, температура приточного воздуха будет 12–17°C. Допустимый перепад температур удаляемого и приточного воздуха Δt для производственных помещений составляет 6–9 °C, торговых залов — 4–10 °C, а при высоте помещения более 3 м — 12–14 °C.

Параметры удаляемого из помещения воздуха отличаются от параметров воздуха в рабочей зоне. Разница между ними зависит от способа подачи воздуха в помещение, высоты помещения, кратности воздухообмена и других факторов. Зоны U, P и R на i-d-диаграмме имеют одинаковую форму и

расположены вдоль линий ε на расстояниях, соответствующих разностям температур: $\Delta t_1 = t_{пом} – t_{пр}$ и $\Delta t2 = t_{уд} – t_{пом}$.

Таким образом, процесс кондиционирования воздуха сводится к приведению множества параметров наружного воздуха (многоугольник abcdef) к оптимальному множеству параметров приточного воздуха (трапеция P1P2P3P4). Техническая реализация этого преобразования может быть представлена различными структурными схемами СКВ: прямоточной, с рециркуляцией воздуха или с рекуперацией тепла.

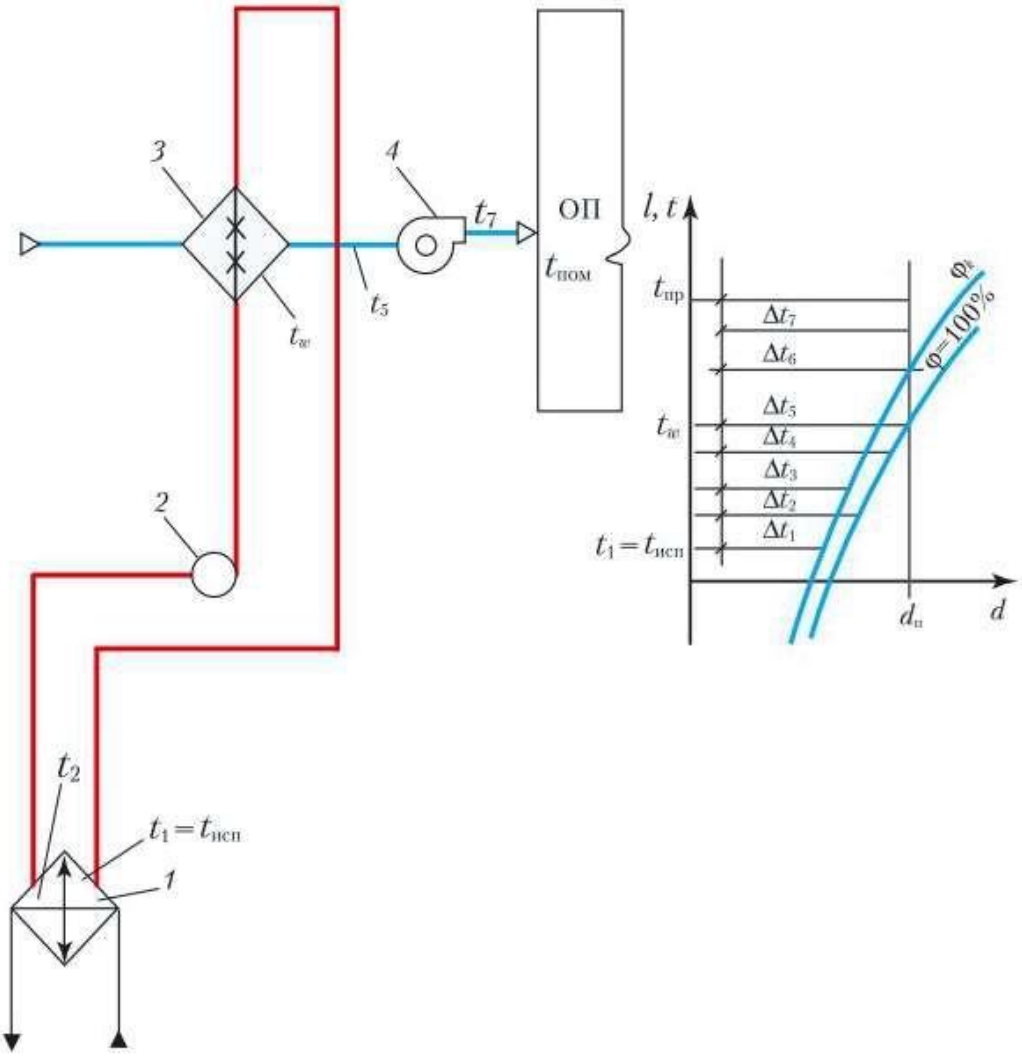


Рис. К расчету температуры приточного воздуха 1- испаритель холодильной машины; 2 – насос;3 – камера орошения; 4 - вентилятор

2.1.4 Функциональные схемы СКВ.

Функциональная схема автоматизации (ФСА) является основным техническим документом, определяющим структуру и функциональные связи технологического процесса и средств контроля, и управления. Разработка ФСА смотри раздел 1.1.1.

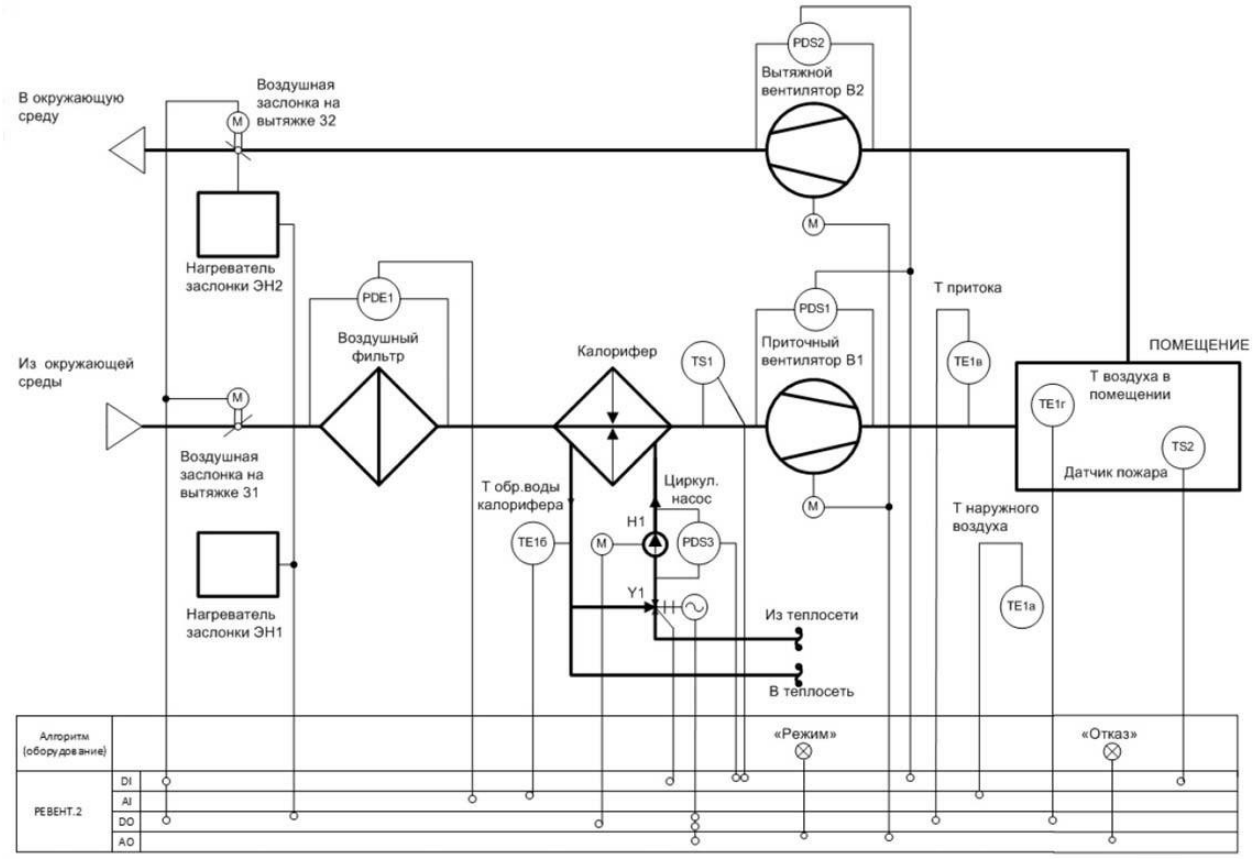


Рис. 9. ФСА прямоточного кондиционера воздуха

Тема 2 «Качественное и количественное регулирование СКВ». Датчики и сенсоры СКВ. Передаточные функции СКВ. Устойчивость СКВ. Коррекция автоматических систем управления СКВ. Исполнительные механизмы САР СКВ. Автоматизация прямоточных СКВ. Термодинамическая модель прямоточной СКВ. Автоматизация СКВ с рециркуляцией воздуха. Термодинамическая модель СКВ с рециркуляцией воздуха. Количественное регулирование СКВ. Регулирование СКВ по оптимальному режиму.

2.2.1.Датчики и сенсоры

Датчики - это элементы систем автоматизации вентиляции, служащие для получения информации о реальном состоянии регулируемого объекта. С их помощью осуществляется обратная связь системы регулирования с объектом по следующим параметрам: температуре, давлению, влажности и т.д.

Рис. Датчики (преобразователи) температуры. Системы автоматизации вентиляции.

Для того, чтобы информация с датчика передавалась системе в виде цифрового кода каждый датчик снабжается преобразователем.

Оптимальные места установки датчиков указываются в прилагаемых к ним инструкциях.

Датчики температуры могут быть для внутреннего и наружного применения; накладными на трубопровод (для контроля температуры поверхности трубопровода) или канальными (для измерения температуры воздуха в воздуховоде). Внутри помещений датчики температуры устанавливаются в нейтральных, относительно источников тепла или холода местах, снаружи здания в местах где датчик будет защищен от ветра или прямого попадания солнечных лучей.

Датчики влажности представляют собой блок с электронным прибором, измеряющим относительную влажность, и преобразующий данные в электронный сигнал. Бывают наружного и внутреннего исполнения. Устанавливаются в местах со стабильными условиями влажности, не допускается установка их вблизи радиаторов отопления, блоков кондиционеров, у источников влаги.

Датчики давления подразделяются на реле давления (механическое измерение перепада давлений и электрическое преобразование) и аналоговые датчики давления (преобразование давления сразу в электрический сигнал, например, с помощью пьезо-элементов). И те, и другие применяются для измерения давление как в одной точке, так и разность давлений в двух точках.

Рис. Преобразователь давления. Системы автоматизации вентиляции

Датчики потока измеряют скорость движения жидкости или газа в трубопроводе или воздуховоде. Расход жидкости вычисляется по формуле внутри процессорного блока исходя из разности давлений и других параметров (температуры, сечения трубопровода, плотности).

Рис. Датчик расхода жидкости. Системы автоматизации вентиляции

Датчик — это устройство, которое, подвергаясь воздействию физической измеряемой величины, выдает эквивалентный сигнал, являющийся функцией измеряемой величины. Под сигналом мы будем понимать поток энергии или изменение состояния физического объекта — носителя сигнала. Наиболее распространенными являются электрические и электромагнитные сигналы, однако существуют оптические, акустические, пневматические, гидравлические и механические сигналы. Если m — измеряемая физическая величина, то сигнал s можно представить в виде $s = f(m)$. Функцию f называют характеристикой преобразования и представляют в виде графиков или таблиц, называемых градуировочными или тарировочными. Обычно стремятся, чтобы между малыми приращениями измеряемой величины и сигнала существовала линейная зависимость $\Delta s = S_m$ (линеаризация). Коэффициент S называют «чувствительностью» датчика. Качество датчика оценивается по постоянству чувствительности в диапазоне изменения измеряемой величины. На чувствительность могут влиять условия работы датчика, характеризующие не измеряемый объект, а его окружение. Эти влияния, искажающие информацию в сигнале, называют помехами.

(Следует отличать от «помех» в оптимизационной модели.) Датчик может генерировать сигнал — выдавать потенциал, ток, перемещение, излучение и тому подобное (термопара — ЭДС, пьезодатчик — заряд, рамка в магнитном поле — переменный ток, сильфон — перемещение). Такие датчики называют активными.

Физические эффекты в активных датчиках:

- термоэлектрический эффект — разность температур — ЭДС
- (рис. 11, а);
- пьезоэлектрический эффект — деформация (сжатие, изгиб) —
- заряд (рис. 11, б);
- электромагнитная индукция — скорость — напряжение (рис. 11, в);
- эффект Холла — поворот, перемещение — напряжение (рис. 11, г);
- пироэлектрический эффект — излучение — заряд;
- внутренний фотоэффект — свет — напряжение.

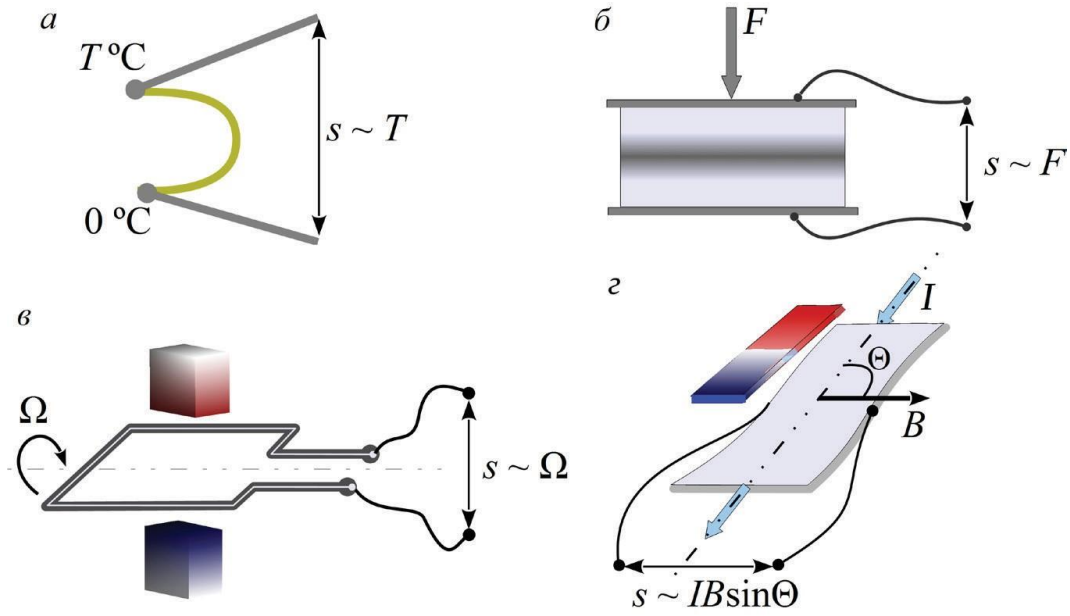


Рис. 11. Физические эффекты в активных датчиках:
а — термоэлектрический; б — пьезоэлектрический;
в — электромагнитной индукции; г — Холла

Другие датчики изменяют свое состояние, свойства в зависимости от измеряемой величины (тензодатчик: деформация — изменение сопротивления, терморезистор: температура — сопротивление, биметаллическая пластина: температура — деформация, рамка в магнитном поле: ток — поворот). Для того чтобы получить сигнал от такого датчика, нужно его «опросить», подав, например, напряжение, тогда для резистивных датчиков сигналом будет значение величины тока, для биметаллической пластины — наличие (замкнут контакт) или отсутствие тока (разомкнут контакт). К рамке можно приклеить зеркальце и осветить лучом света — сигналом будет перемещение «зайчика».

Такие датчики, сигнал с которых получают путем «опроса», называют пассивными.

Эффекты, используемые в пассивных датчиках:

- расширение при нагреве — температура — перемещение;
- изменение сопротивления при деформации проводника — тензодатчик (рис. 12, а);
- изменение сопротивления вещества в зависимости от температуры — термосопротивление (рис. 12, б);
- изменение емкости конденсатора при изменении положения обкладок — емкостной датчик (рис. 12, в, г);
- изменение магнитного сопротивления в зависимости от величины зазора в магнитопроводе — индуктивный датчик (рис. 12, д);
- изменение сопротивления току от освещенности — фотосопротивление;
- изменение проводимости в зависимости от влажности пористого материала — датчик влажности.

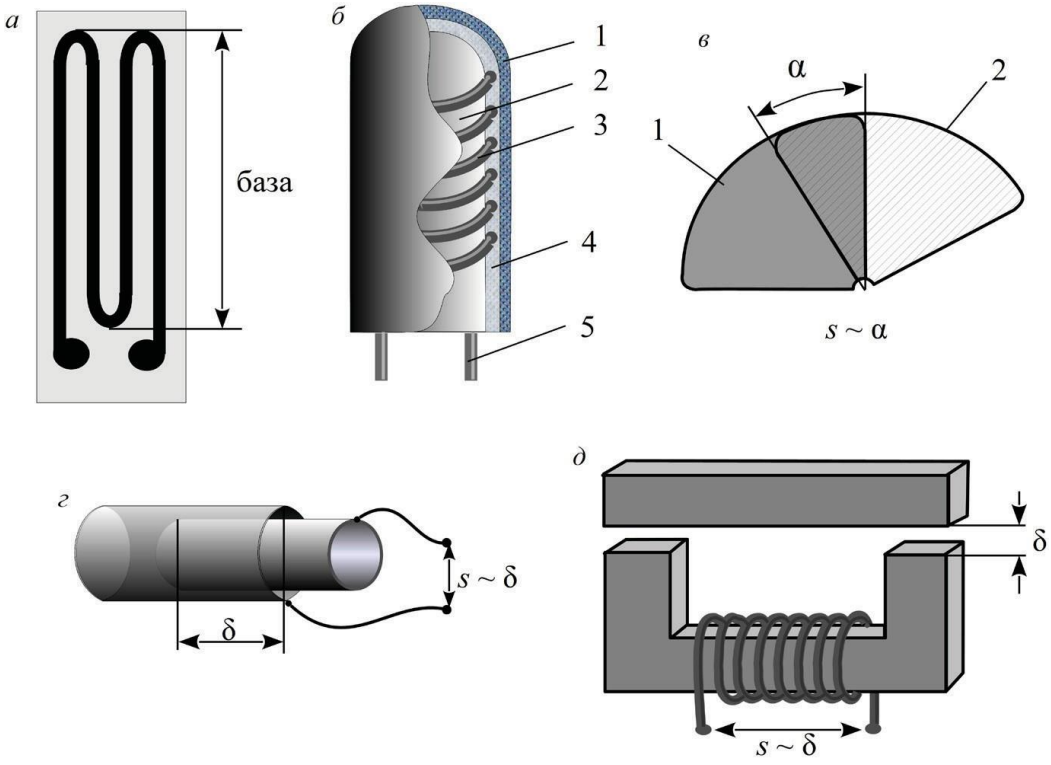


Рис. 12. Примеры пассивных датчиков:

а — тензодатчик; б — термосопротивление (1 — каркас; 2 — изолятор; 3— платиновая проволока; 4 — керамика; 5 — выводы); в — емкостный датчик угла поворота (1 — неподвижный сектор; 2 — поворотный сектор); г — емкостный датчик перемещения; д — индуктивный датчик

Конструкция датчиков определяется в соответствии с требованиями эксплуатации. Они могут выполняться в пылевлагозащищенном исполнении, иметь противоударное крепление, снабжаться специализированными интерфейсами. Датчики, используемые в системах контроля и управления, очень разнообразны. Во многих случаях конструкция измерительного устройства системы контроля и управления представляет собой сложное изделие, включающее датчики, усилители и преобразователи, соединенные в специальную схему. Так, для измерения сил и моментов используют месдозы, которые состоят из упругого элемента с наклеенными или нанесенными другим способом тензометрическими датчиками, соединенными в мостовую схему, (рис. 13).

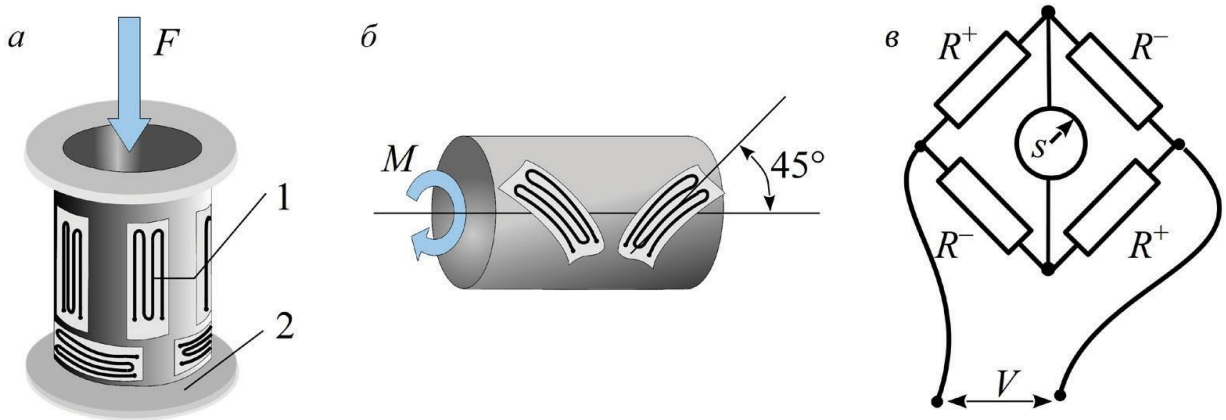


Рис. 13. Месдозы для измерения силы и момента:
а — измерение силы: 1 — тензодатчик; 2 — упругий элемент;
б — измерение момента; в — мостовая схема

Развитие технологии интегральных схем привело к появлению конструкций датчиков принципиально нового типа, сочетающих первичное преобразование информации с предварительной обработкой полученного сигнала. Предварительная обработка сигнала может включать фильтрацию и усиление, интегрирование и дифференцирование сигналов, получение усредненных значений, а также дискретизацию и преобразование аналоговых сигналов в цифровые. На рис. 14 и 15 приведены конструкции датчиков, исполненных по технологии интегральных схем и снабженных элементами для предварительной обработки сигнала.

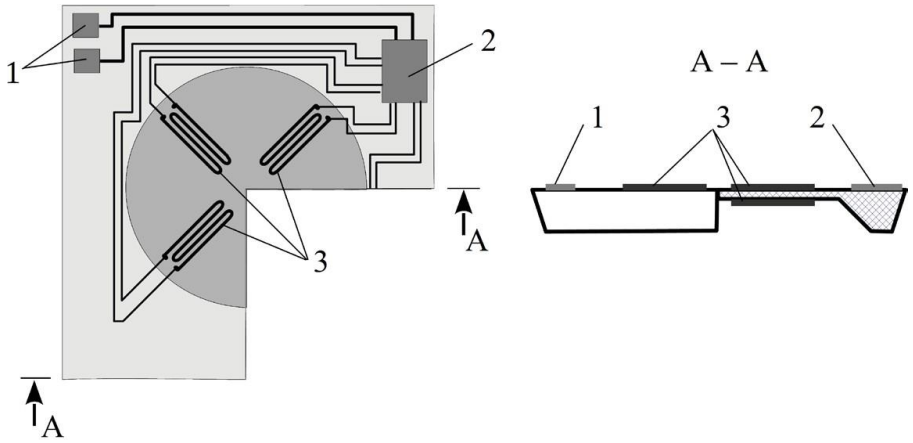


Рис. 14. Мембранный датчик давления:
1 — контактные площадки; 2 — усилитель; 3 — тензорезисторы

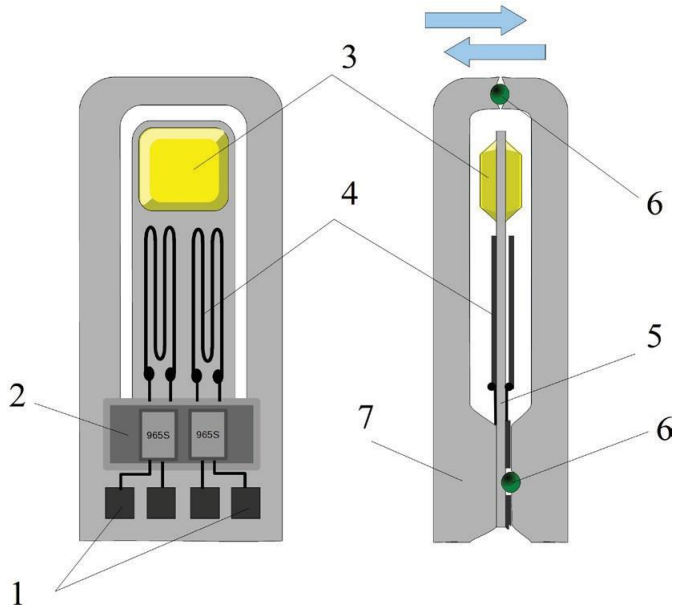


Рис. 15. Интегральный акселерометр:
1 — контактные площадки; 2 — преобразователь; 3 —инерционная масса; 4 — тензорезисторы; 5 — балка; 6 — уплотнения; 7 — корпус

Широкое распространение цифровых систем контроля и управления привело к возникновению потребности в первичных преобразователях, обеспечивающих непосредственное получение сигнала в цифровой форме. Это можно осуществить двояко: путем изменения конструкции датчика или снабжения датчика совмещенным преобразователем аналогового сигнала в цифровой код. Идея устройств, непосредственно генерирующих дискретный цифровой сигнал, достаточно проста. Имеется генератор кода и считыватель. В качестве генератора может быть использован перфорированный подвижный элемент — линейка (рис. 16, а, б) или диск (рис. 16, в), а в качестве считывателя — линейка фотодиодов.

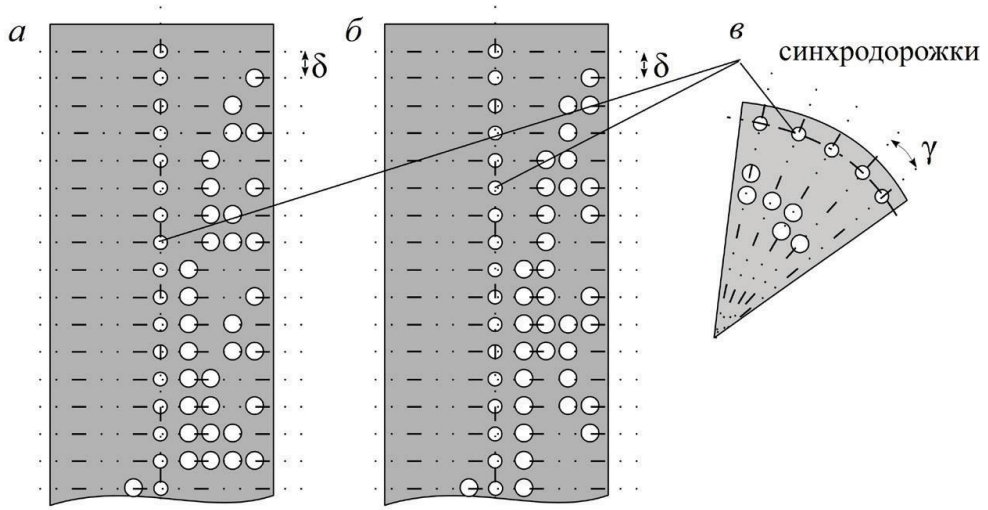


Рис. 16. Подвижные элементы цифровых датчиков перемещений: а — линейка с позиционным двоичным кодом; б — линейка с кодом Грея; в — диск-цифра (показана часть диска с кодом Грея)

Вместо перфорированных элементов могут быть использованы штампованные конструкции, имеющие соответствующим образом сформированные выступы. Считывателем в этом случае выступает линейка индуктивных датчиков. Точность измерения (чувствительность) при использовании таких датчиков определяется по величине шага генератора кода, δ — для линейного перемещения, γ — углового (рис. 16). Считывание осуществляется только в момент, когда код находится напротив линейки считывателя. С этой целью на подвижном элементе сформированы синхронизирующие дорожки — посередине линейки и на краю диска. Срабатывание элемента считывателя, расположенного напротив синхронизирующей дорожки, разрешает считывание кода.

2.2.2 Исполнительные механизмы САР СКВ

Исполнительные устройства следует рассматривать в привязке к управлению приводом.

Это важный элемент в таком процессе как управление вентиляцией, на долю которого выпадает роль осуществления приводной части автоматизации. Эти механизмы могут быть как электрическими, так и гидравлическими.

В качестве исполнительных устройств могут выступать клапаны, заслонки и частотные регуляторы.

Регуляторы – это один из основных элементов системы автоматики для вентиляции, обеспечивающий управление исполнительными механизмами по показаниям различных датчиков.

По функциональному предназначению эти элементы вентиляционных систем подразделяются на регуляторы скорости и регуляторы температур.

Регуляторы скорости бывают однофазными и трёхфазными (также, как и двигатели). Также они бывают с плавным или ступенчатым регулированием, при этом выбор способа регулирования зависит от

мощностей вентиляторов. Наиболее современным и экономичным является способ скорости вращения насосов и вентиляторов с помощью преобразователей частоты (ПЧ). Несмотря на высокую стоимость, ПЧ экономически оправдывают себя уже на двигателях с мощностью более 1 кВт.

Регуляторы температур в зависимости от способа управления бывают пороговыми, управляющие температурой с помощью, полностью открытой или полностью закрытой заслонки (пример – автомобильный термостат), и с пропорционально дифференциальным управлением (PID), позволяют плавно управлять температурой в рабочем диапазоне.

Управление регуляторами в системах автоматизации вентиляции осуществляется из щитов управления.

Щиты автоматизации

Работа автоматизированной системы, ее удобство, надежность и безопасность эксплуатации напрямую зависят от алгоритмов управления процессом (специалистов, выполнивших проектирование и наладку), а также от возможностей комплектующих изделий. Алгоритмы реализуются на программном уровне и «зашиваются» в свободно программируемые контроллеры, установленные в щитах автоматизации.

Рис. Щит автоматизации вентсистемы

При подключении датчиков к щиту автоматизации учитывают тип сигнала, передаваемого преобразователем (аналоговый, дискретный). Аналогично выбираются и модули расширения, управляющие приводами устройств.

Аналоговые входы. На аналоговый вход подключают устройства, которые способны изменять потенциал на своем выходе от 0 до 10 В., в зависимости от измеряемой величины (датчики температуры, давления и др. измерительные устройства);

Аналоговые выходы. На аналоговый выход подключают устройства, которым требуется управляющий сигнал от 0 до 10 В., в зависимости от совершаемого действия (приводы клапанов, приводы регулируемых воздушных заслонок и др.);

Дискретные входы. На дискретные входы подключают устройства, которые сигнализируют свое состояние (одно из двух возможных) «сухим» контактом (термостаты, датчики-реле перепада давления, ответы магнитных

пускателей, сигнал «Пожар», концевики заслонок и др.);

Дискретные выходы. На дискретные выходы подключают устройства, которым для изменения своего состояния (включить, выключить) требуется управляющий контакт (электромагнитные клапаны, пускатели, трехпозиционные приводы).

Щиты вентсистем бывают силовые, управляющие или совмещенные, если система небольшая. Щиты автоматики для вентиляции обеспечивают:

- Включение и выключение системы вентиляции;
- Индикацию состояния оборудования;
- Защиту от неправильного подключения питающего напряжения и короткого замыкания;
- Управление производительностью вентиляционной установки;
- Индикацию состояния воздушных фильтров;
- Защиту от перегрева электродвигателей;
- Защиту калорифера от замерзания;
- Поддержку и контроль температуры воздуха на входе вентиляционной установки и в помещении;
- Возможность применения временных ручных алгоритмов управления.
- Стандартный щит автоматики для приточно-вытяжной установки с водяным калорифером имеет следующий функционал:
- управление вентиляторами притока и вытяжки
- индикация работы вентиляторов притока и вытяжки
- сблокированное включение/отключение приточного и вытяжного вентиляторов
- переключение между режимами „Зима / Лето “
- поддержание заданной температуры воздуха
- многоуровневая система защиты от замерзания калорифера, включающая:
- постоянный контроль температуры воздуха на выходе из калорифера
- управление циркуляционным насосом на узле обвязки, обеспечивающим постоянный поток воды через калорифер
- управление приводом клапана с возвратной пружиной для закрытия воздухозаборного клапана при выключении вентилятора или при пропадании напряжения питания
- постоянный контроль температуры обратной воды в калорифере во всех режимах работы, в том числе и в режиме стоянки
- защита вентиляторов от перегрева
- защита от перекоса фаз или пропадания одной фазы
- защита при коротком замыкании или перегрузке
- индикация и отключение системы при загрязнении фильтра
- отключение установки в случае пожара

2.2.3 Автоматизация прямоточных СКВ. Термодинамическая модель прямоточной СКВ.

В технике кондиционирования применяют количественное и качественное регулирование. При количественном регулировании требуемое состояние воздуха достигается путем изменения расхода воздуха при постоянных его параметрах. Количественное регулирование применяется в многозональных системах, а в однозональных – качественное. Для получения оптимальных параметров СКВ могут использоваться оба указанные метода.

Поддержание температуры осуществляется по датчикам, располагаемым в обслуживаемом помещении. Влажность может регулироваться по влажности воздуха в помещении (прямое регулирование) или по температуре точки росы воздуха после камеры орошения (косвенное регулирование).

При регулировке влажности по температуре точки росы необходимо в линию обработки воздуха ставить два нагревателя ВН1 и ВН2 (рис. 1.2). Воздух нагревается, доводится в камере орошения ОК до параметров, близких к температуре точки росы приточного воздуха. Датчик температуры Т2, установленный после камеры орошения, регулирует мощность первого воздухонагревателя так, чтобы температура воздуха после камеры орошения стабилизировалась в области точки росы.

Воздухонагреватель второго подогрева, установленный после камеры орошения, доводит до необходимой температуры приточный воздух.

Таким образом, косвенное регулирование влажности приточного воздуха осуществляется терморегуляторами без прямого измерения влажности.

При комбинированном регулировании влажности воздуха сочетают прямое и косвенное регулирование. Такой метод используется в системах кондиционирования, имеющих обводной канал вокруг камеры орошения, и называется методом оптимальных режимов.

На рис. 1.3 показана термодинамическая модель прямоточной системы кондиционирования. Синим цветом показаны годовые пределы изменения параметров наружного воздуха. Нижняя предельная точка наружного воздуха в холодный период обозначена $Н_{зм}$, а для теплого – $Н_{л}$. Множество состояний воздуха в рабочей зоне обозначено многоугольником Р1Р2Р3Р4 (зона Р), а множество допустимых состояний приточного воздуха – П1П2П3П4 (зона П).

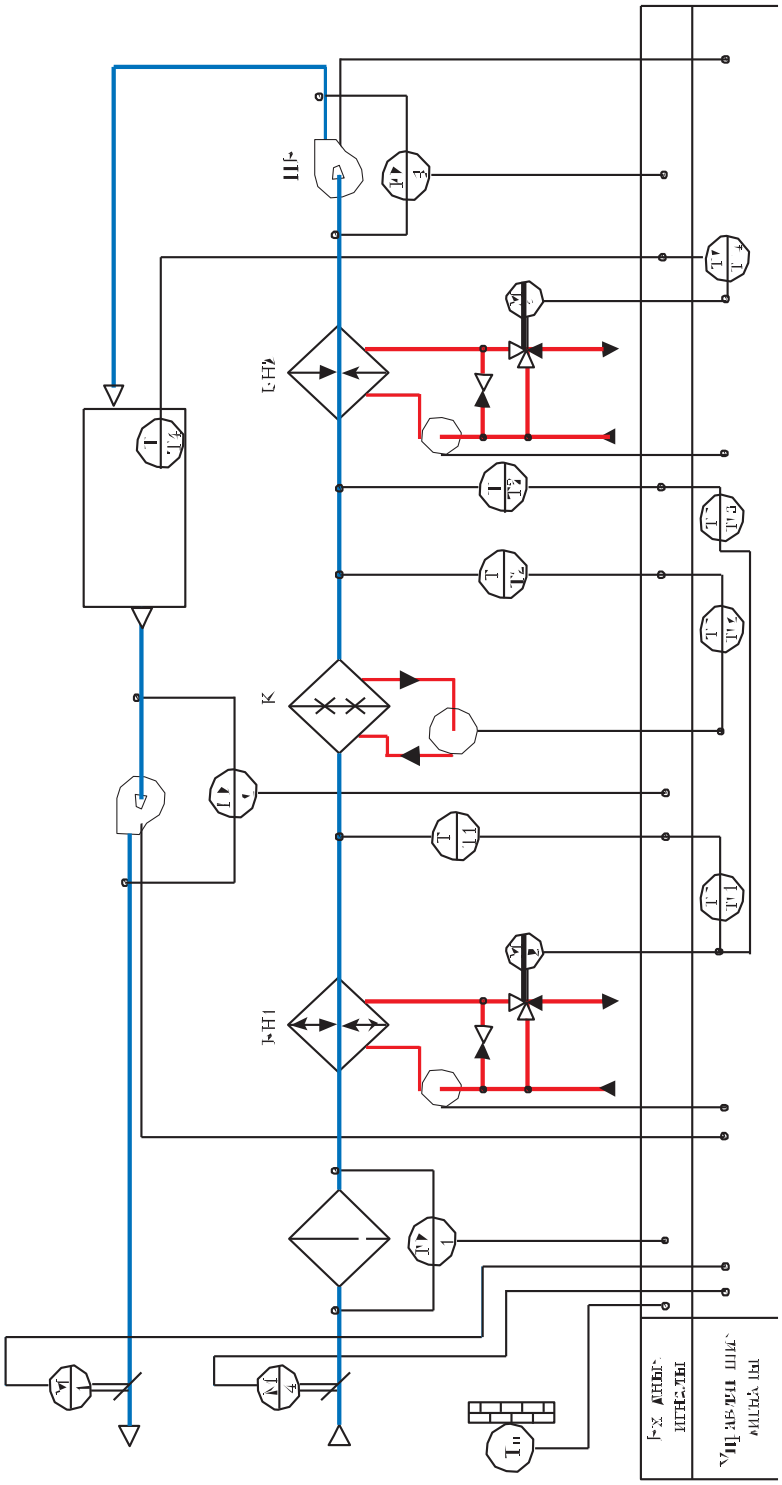


Рис. 1.2 Схема автоматизации прямоточной СКВ

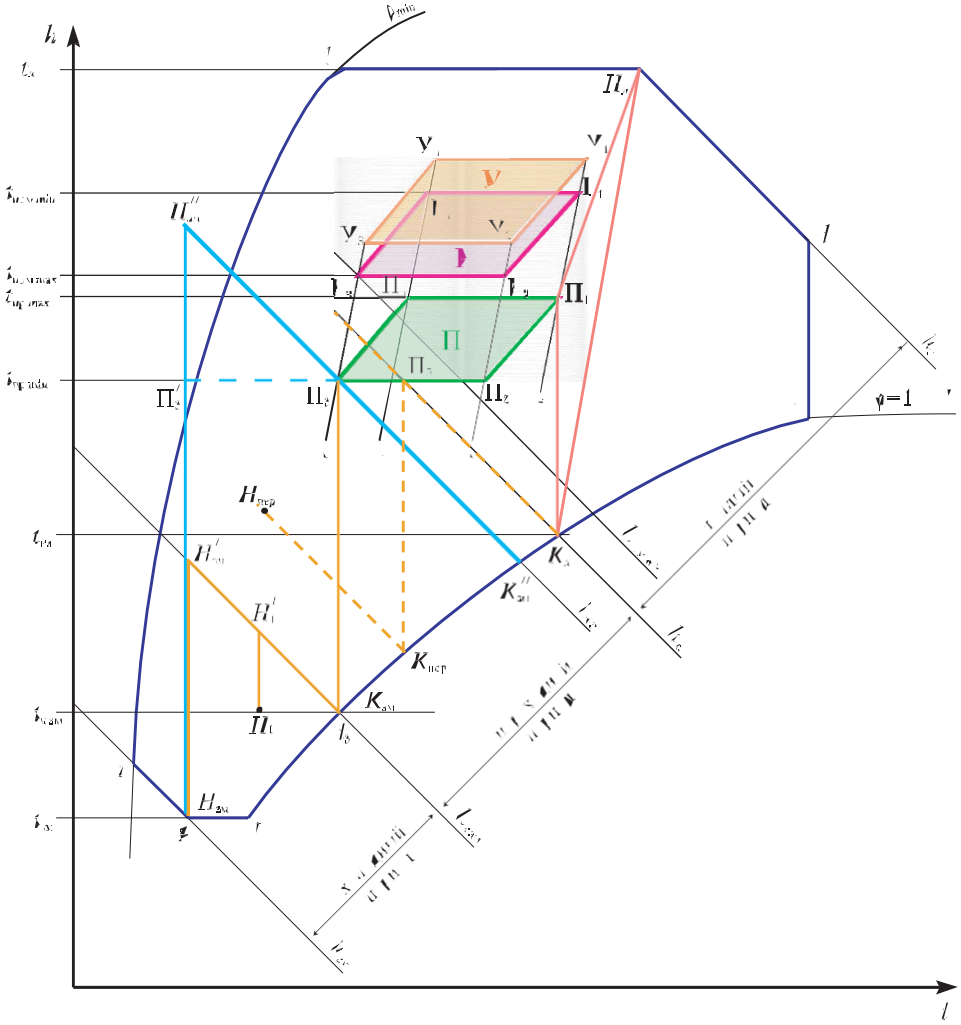


Рис. 1.3. Термодинамическая модель прямоточной системы кондиционирования воздуха

2.2.4 Автоматизация СКВ с рециркуляцией воздуха. Термодинамическая модель СКВ с рециркуляцией воздуха.

На рис. 1.5 представлена схема центрального кондиционера с рециркуляцией воздуха. С целью уменьшения потерь тепла (холода) часть удаляемого воздуха поступает в камеру смешения (КС), где смешивается со свежим приточным воздухом. Температура смешанного воздуха определяется температурой наружного и удаляемого воздуха, а также их количеством.

Регулировка количества смешанного и приточного воздуха производится с помощью трех заслонок: приточной (ПЗ), вытяжной (ВЗ) и рециркуляционной (РЗ). Заслонки в приточном и вытяжном каналах должны работать синфазно, а в рециркуляционном канале – противофазно относительно вытяжной и приточной. Это позволяет реализовать любую степень рециркуляции от 0 до 100 %. При полностью открытых приточной и вытяжной заслонках и полностью закрытой рециркуляционной заслонке система превращается в прямоточную (степень рециркуляции 0 %). При полностью закрытых приточной и вытяжной заслонках и полностью открытой рециркуляционной заслонке степень рециркуляции составит 100 %.

Общий расход воздуха $G_{об}$ определяют по расчетному количеству, необходимому для ассимиляции тепло- и влагоизбытков. Минимальное количество наружного воздуха $G_н$ определяется расчетом для ассимиляции вредных паров и газов или обеспечения санитарных норм. Тогда масса рециркуляционного воздуха $G_р$ определится как $G_р = G_{об} – G_н$.

В холодный период (рис. 1.6) наружный воздух Gн смешивается с рециркуляционным, полученная смесь догревается в воздухонагревателе первого подогрева до энтальпии $h_к$ зм, затем в камере орошения подвергается адиабатическому увлажнению до состояния $К_{зм}$ и в воздухонагревателе $ВН_2$ доводится до температуры точки $П_З$. Последовательность обработки воздуха следующая: $Н_{зм} + У_з = С_{ну}$ С'ну $_{Кзм}$ П3. Влагосодержание воздуха регулируется терморегулятором ТС3, датчик которого установлен после камеры орошения. Регулировка производится таким образом, чтобы воздух на выходе нагревателя первого подогрева имел энтальпию hк зм. Адиабатное увлажнение доводит влагосодержание воздуха до состояния Кзм.

Терморегулятор ТС4, датчик которого находится в помещении, регулирует теплопроизводительность воздухонагревателя второго подогрева, обеспечивая температуру приточного воздуха $t_{пз}$. Максимальная теплопроизводительность воздухонагревателя первого подогрева:

QТ$_1 = G_{об}$. (hк зм. – hну),

а воздухонагревателя второго подогрева

QТ$_2 = G_{об}$. (hП3 – hк зм).

По мере перемещения точки $Н_{зм}$ в сторону изоэнтальпы $h_{ну}$ уменьшается мощность нагревателя первого подогрева ВН1. В момент, когда точка Н окажется на линии $h_{ну}$ потребность в $ВН_1$ отпадает. Состояние воздуха от $h_{зм}$

до $h_{ну}$ называется первым холодным режимом. Уменьшение мощности подогревателя $ВН_1$ до нуля есть сигнал к переходу на второй холодный режим, находящийся между энтальпиями $h_{ну}$ и $h_к$ зм. В этот период наружный воздух смешивается с удаляемым, смесь подвергается адиабатному увлажнению в камере орошения до состояния $h_{зм}$, после чего подогревается нагревателем $ВН_2$ до состояния $П_3$

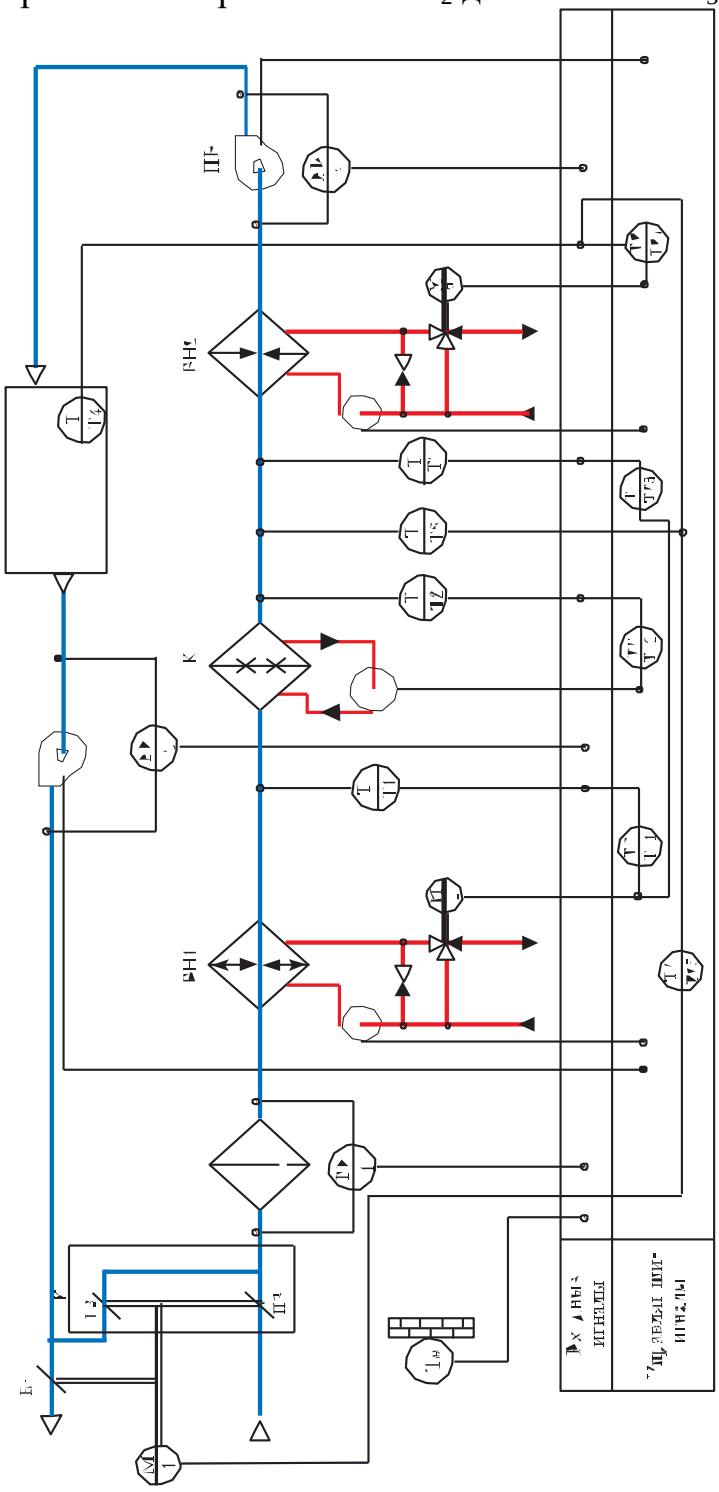


Рис. 1.5. Схема автоматизации СКВ с рециркуляцией воздуха

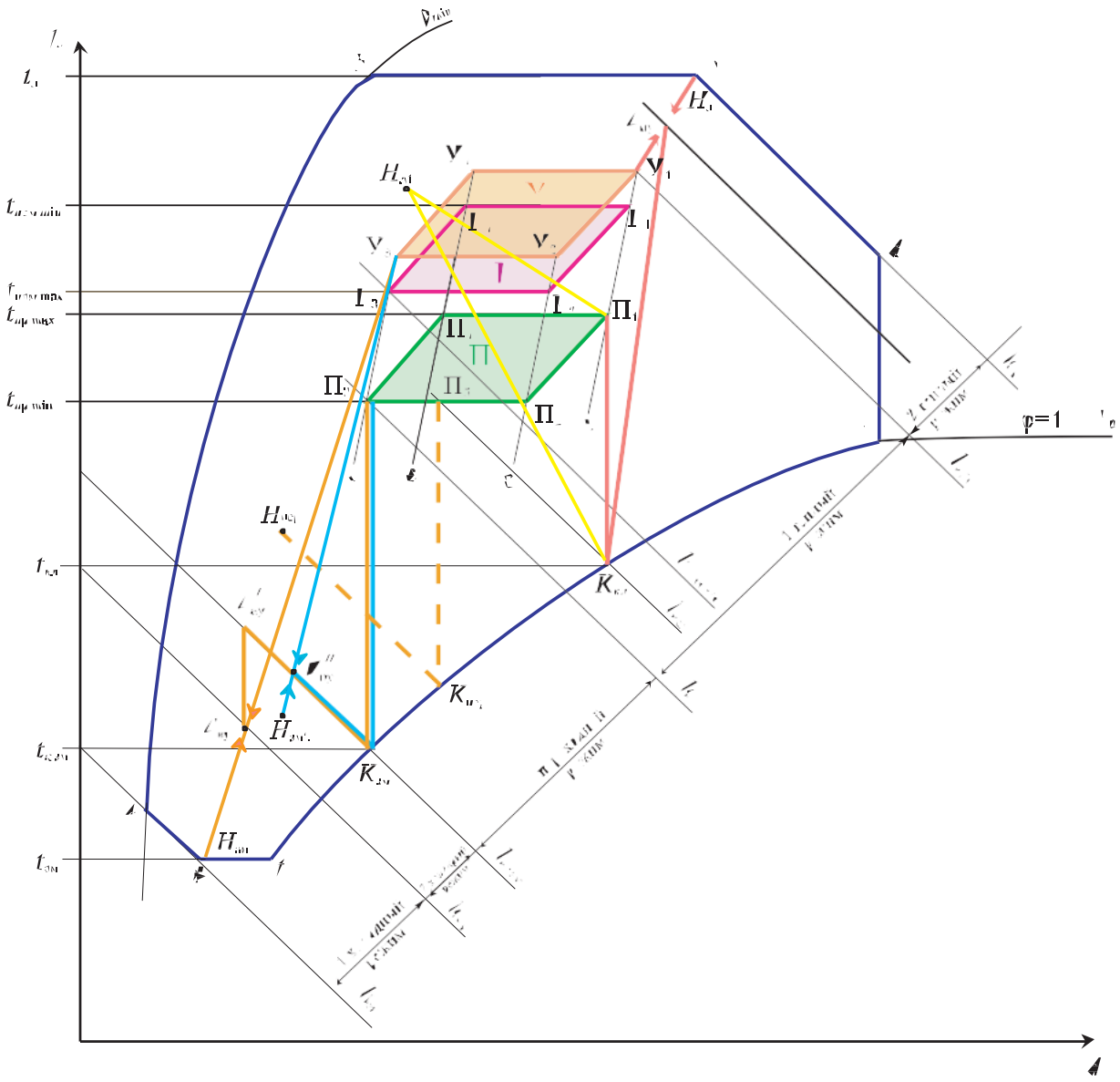


Рис. 1.6. Термодинамическая модель СКВ с рециркуляцией воздуха

2.2.5 Количественное регулирование СКВ.

На рис. 1.12 приведена схема регулирования многозональной СКВ изменением расхода приточного воздуха. До подачи в помещение производится предварительная подготовка воздуха. Далее воздух подается в помещение для ассимиляции тепла и влаги. При этом в каждое помещение подается различное количество воздуха, изменяемое системой автоматического регулирования по датчикам, расположенным в помещениях (на схеме не показаны).

В этой системе необходимо управлять входными и выходными заслонками в каждом помещении, независимо от состояния заслонок в других помещениях, причем приточные и вытяжные заслонки должны управляться синхронно. Необходимо управлять также скоростью вентиляторов, трехходовыми клапанами, водяным насосом и т. д., а также обеспечивать защиту водяных калориферов от замораживания, двигателей

вентиляторов от перегрева и возгорания.

В центральном (общем) канале воздух подогревается или охлаждается до определенной температуры и затем поступает в помещения. В каждом помещении есть датчик температуры. В зависимости от разности между требуемой температурой в помещении (требуемая температура – уставка – задается пользователем) и реальной температурой, измеренной датчиком, устройство управления должно устанавливать в необходимое положение входные и выходные заслонки, изменяя этим расход воздуха, проходящего через каждое помещение. В случае, если большинство заслонок закроется, давление в общем канале при неизменной производительности вентиляторов возрастет, что приведет к недопустимому увеличению скорости потока воздуха через остальные заслонки и возникновению акустического шума (свиста). Для исключения такой ситуации в общих приточном и вытяжном каналах установлены датчики статического давления. По сигналам от этих датчиков изменяется скорость вращения вентиляторов, благодаря чему давление в канале поддерживается на постоянном уровне и, следовательно, скорость потока воздуха через любое количество открытых в данный момент заслонок остается неизменной. Производительность водяного калорифера обеспечивается циркуляционным насосом и трехходовым регулирующим клапаном.

Циркуляционный насос обеспечивает постоянную (независимо от положения трехходового клапана) скорость циркуляции теплоносителя через калорифер, а трехходовой клапан регулирует количество теплоносителя, поступающего для этой цели в калорифер, пропуская при необходимости часть теплоносителя по байпасной линии мимо него. Если невозможно получить теплоснабжение от сети центрального отопления, используют электрический калорифер с несколькими ступенями мощности (до четырех).

Расход воздуха в приточно-вытяжных системах обеспечивается изменением производительности приточно-вытяжных вентиляторов. Если при низкой температуре наружного воздуха полной мощности электрического калорифера для поддержания заданной температуры недостаточно, то снижается производительность (скорость вращения) вентиляторов. Следует помнить, что при снижении скорости вращения вентиляторов количество поступившего в помещение воздуха может не соответствовать требованиям санитарных норм. Однако это позволяет обеспечить работу центрального кондиционера до температуры наружного воздуха минус 20–25 °С. Аналогичная ситуация возникает в летний период в случае работы на охлаждение при высокой (выше расчетной) температуре наружного воздуха.

В центральном канале устанавливается датчик потока воздуха и датчик перегрева калорифера. При отсутствии потока воздуха электрокалорифер выйдет из строя через 10–15 с, поэтому для его защиты устанавливается датчик потока. Помимо этого, в калориферах, как правило, устанавливают два термостата:

- термостат защиты от перегрева с самовозвратом (температура срабатывания 50 °С);
- термостат защиты от возгорания с ручным возвратом (температура срабатывания 150 °С).

Первый термостат срабатывает обратимо, то есть после того, как температура воздуха за электрокалорифером снизится до 40 °С, калорифер включится снова. Однако если такое выключение случится 4 раза в течение 1 часа, то произойдет аварийное отключение системы. При срабатывании второго термостата система отключится, включить ее повторно можно будет только вручную после устранения неисправности.

Контроль запыленности фильтра оценивается падением давления на нем, которое измеряется дифференциальным датчиком давления. Датчик измеряет разность давлений воздуха до и после фильтра.

Допустимое падение давления на фильтре указывается в его паспорте (обычно 150–300 Па). Это значение устанавливают при наладке системы на дифференциальном датчике давления (уставка датчика). Когда падение давления достигает значения уставки, от датчика поступает сигнал о предельной запыленности фильтра и необходимости его обслуживания или замены. Если в течение 24 часов после выдачи сигнала предельной запыленности фильтр не будет очищен или заменен, произойдет аварийная остановка системы. Аналогичные датчики устанавливаются на вентиляторах. Если выйдет из строя вентилятор или ремень привода вентилятора, то система будет остановлена в аварийном режиме.

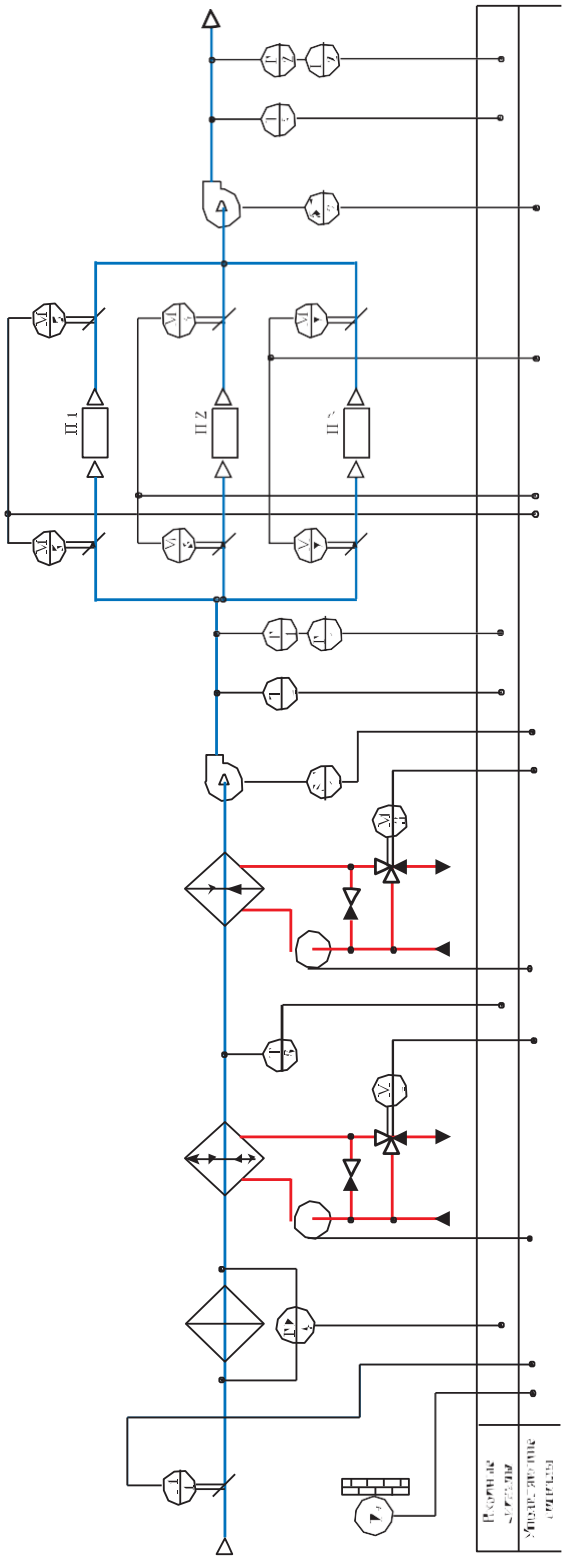


Рис. 1.12. Прямоточная система кондиционирования воздуха

2.2.6 Регулирование СКВ по оптимальному режиму

Термодинамическая модель подготовки приточного воздуха, основанная на регулировании влагосодержания по температуре точки росы, обуславливает большой перерасход холода и тепла. Однако широта ее использования связана с отсутствием быстродействующих точных регуляторов влажности.

В последнее время применяют метод регулирования СКВ по оптимальному режиму, позволяющему избежать повторного подогрева воздуха. Термодинамическая модель по оптимальному режиму меняется непрерывно, обеспечивая наименьший расход холода и тепла.

В таких моделях учитывается взаимное влияние двух контуров регулирования: температуры и влажности. Связанные системы регулирования с двумя стабилизирующими контурами описываются довольно сложными математическими зависимостями, а их аппаратурная реализация имеет высокую стоимость. Поэтому регулирование по оптимальному режиму применяется в технологическом или прецизионном кондиционировании воздуха.

Из описанных выше схем регулирования центральных кондиционеров вытекает, что для нормального функционирования установки центрального кондиционирования воздуха должна реализовываться определенная технология, обеспечивающая поддержание требуемого микроклимата в помещении. Для этого разрабатываются алгоритмы работы центральных кондиционеров по показаниям датчиков температуры, влажности, давления, величин токов, напряжения на элементах управления и т. д.

Реализация алгоритмов осуществляется исполнительными и защитными элементами (электродвигатели, клапаны, заслонки и др.).

Таким образом, система автоматического управления установкой центрального кондиционирования должна выполнять следующие функции:

- управляющие (включение, выключение, задержки);
- защитные (отключение при авариях, предупреждение повреждений установки);
- регулирующие (поддержание комфортных условий при минимальных эксплутационных расходах).

Тема 3 «Реализация типовых законов регулирования в процессе автоматического управления СКВ». Применение П – пропорционального регулятора, ПИ - пропорционально-интегрального регулятора. ПИД-регулятор. Автоматическое регулирование на основе нечеткой логики.

2.3.1 Классификация автоматических регуляторов

Автоматические регуляторы (АР) представляют собой большую группу автоматических управляющих устройств, которые вырабатывают регулирующее воздействие в САР, если регулируемая величина отклонится от заданного значения или изменяют регулируемый параметр по заданной программе.

Важнейшим свойством любого регулятора является алгоритм (закон) регулирования:

$YP = f(X_P; t)$

где Y_P – выходной сигнал регулятора;

X_P – входящий сигнал регулятора, зависящий от величины рассогласования;

t – время.

В настоящее время находит применение большое разнообразие автоматических регуляторов, которые можно классифицировать по различным признакам:

В зависимости от требуемых значений регулируемого параметра различают регуляторы:

а) стабилизирующие — поддерживающие постоянное значение регулируемого параметра;

б) программные — обеспечивающие заданное изменение регулируемого параметра во времени с помощью специально заданной программы (станки ЧПУ);

в) следящие — обеспечивающие закономерное изменение регулируемого параметра в зависимости от неизвестной заранее переменной величины (копировальные станки).

По способу использования энергии различают регуляторы:

а) прямого действия, когда регулятор и регулирующий орган используют энергию только от измерительного устройства;

б) непрямого действия, когда регулятор или регулирующий орган используют энергию внешнего источника.

В зависимости от требуемых значений регулируемого параметра различают регуляторы:

а) стабилизирующие — поддерживающие постоянное значение регулируемого параметра;

б) программные — обеспечивающие заданное изменение регулируемого

параметра во времени с помощью специально заданной программы (станки ЧПУ);

в) следящие — обеспечивающие закономерное изменение регулируемого параметра в зависимости от неизвестной заранее переменной величины (копировальные станки).

По способу использования энергии различают регуляторы:

а) прямого действия, когда регулятор и регулирующий орган используют энергию только от измерительного устройства;

б) непрямого действия, когда регулятор или регулирующий орган используют энергию внешнего источника.

По виду используемой вспомогательной энергии регуляторы непрямого действия делятся

а) электрические,

б) гидравлические,

в) пневматические

г) комбинированные.

По характеру оказания воздействий с течением времени регуляторы бывают: а) непрерывного действия

б) прерывистого (дискретного) действия.

По установившемуся значению регулируемого параметра после окончания переходного процесса регуляторы бывают

а) статические – в таких регуляторах в установившемся состоянии имеется погрешность, которая зависит от величины нагрузки на объект, т.е. равновесное значение регулируемого параметра всегда отличается от заданной величины, и только при номинальной нагрузке фактическое значение становится равным номинальному.

б) астатические - такие регуляторы после возмущения приводят регулируемый параметр к заданному значению независимо от величины нагрузки и положения регулирующего органа.

По числу фиксированных положений (позиций) различают:

двух-, трех- и *многопозиционные регуляторы.* Например, у двухпозиционного регулятора две возможные позиции регулирующего органа: «включено — выключено».

По скорости перемещения регулирующего органа различают регуляторы:

а) позиционные регуляторы релейного действия с мгновенным практически перемещением;

б) *регуляторы релейного действия* с постоянной скоростью перемещения, не зависящей от абсолютной величины рассогласования (лишь направление перемещения зависит от знака рассогласования)*;*

в) с переменной скоростью, зависящей от знака и величины рассогласования;

г) вибрационные регуляторы с вибрационным (скользящим) режимом у

регуляторов релейного действия.

По количеству регулируемых параметров различают регуляторы:

а) одномерного регулирования - регулирование по одному параметру;

б) многомерного регулирования - регулирование двух и более параметров.

По области своего применения регуляторы делятся на:

а) *индивидуальные,*

б) специализированные

в) универсальные.

2.3.2 Позиционные регуляторы

Двухпозиционные регуляторы

В простейшем случае (без обратной связи) двухпозиционный регулятор работает как двухпозиционный переключатель. Например, мощность, подаваемая на нагреватель, имеет только два значения - максимальное и минимальное (нулевое), две позиции (отсюда и название регулятора - двухпозиционный) - нагреватель полностью включен или полностью выключен.

Двухпозиционные регуляторы используются для управления переключательными элементами:

1) электрическими устройствами - реле, контакторами, транзисторными ключами, симисторными или тиристорными устройствами, твердотельными реле и др.;
2) гидравлическими и пневматическими устройствами – клапанами, заслонками.

Двухпозиционные регуляторы обеспечивают хорошее качество регулирования для инерционных объектов с малым запаздыванием, не требуют настройки и просты в эксплуатации. Эти регуляторы представляют обычный и наиболее широко распространенный метод регулирования.

Структурная схема двухпозиционной системы регулирования приведена на рис. 1.

Для примера приведем описание работы двухпозиционного регулирования температуры в электропечи печи:

1) $\Theta < \Theta ЗД$ - нагреватель включен, пока температура в печи $Y = \Theta$ меньше заданного значения $SP = \Theta ЗД$.
2) $\Theta > \Theta ЗД$ - нагреватель отключается, если температура Θ выше заданной $\Theta ЗД$.
3) Повторное включение нагревателя происходит после уменьшения температуры до значения $\Theta = SP - H$ с учетом гистерезиса H переключательного элемента.

Гистерезис H предусмотрен для предотвращения «дребезга» управляющего выходного устройства (например, реле) и исполнительного механизма (например, нагревательного элемента), т.е. слишком частого

включения (отключения) нагревателя вблизи задания SP.

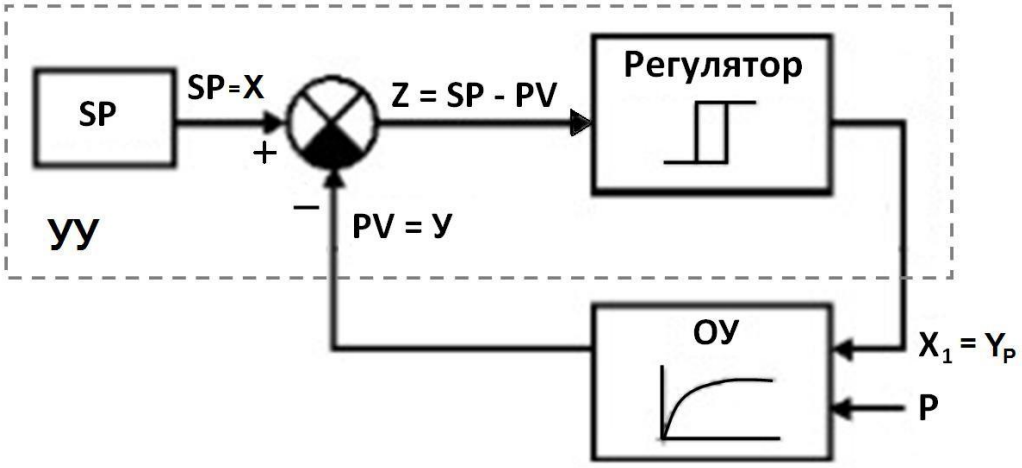


Рис. 1 Структурная схема двухпозиционной системы регулирования

УУ – управляющее устройство; ОУ – объект управления; SP – узел формирования заданной точки (задания); *Z* – рассогласование регулятора; *PV=Y* – регулируемая величина; *X1 = YP* – управляющее воздействие; P – возмущающее воздействие.

Типы статических характеристик двухпозиционных регуляторов показаны на рис. 2.

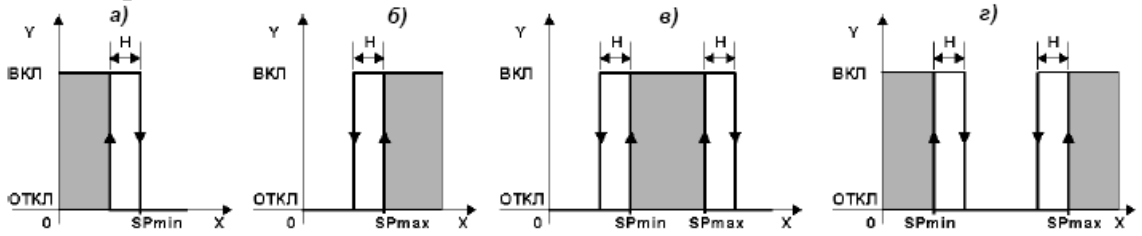


Рис. 2 Статические характеристики двухпозиционных регуляторов

Вид статической характеристики, представленный на рис. 2, а обычно применяется в различных процессах управления нагревом - нагревательных приборах, печах, термошкафах, теплообменниках и т.п. Данный тип регулятора называется обратным регулятором. При использовании в системах сигнализации данная логика работы выходного устройства носит название «меньше установленного значения» или «меньше минимума».

Вид статической характеристики, представленный на рис. 2, б: обычно применяется в различных процессах управления охлаждением – в системах вентиляции, в холодильных установках и т.п. Данный тип регулятора называется прямым регулятором. При использовании в системах сигнализации данная логика работы выходного устройства носит название «больше установленного значения» или «больше максимума».

Виды статических характеристик, представленные на рис. 2, в и 2,г применяются для сигнализации выхода системы управления на рабочий режим. Эти регуляторы еще называют компараторами.

Характеристика на рис.2, в используется для сигнализации вхождения параметра в норму. Данная логика работы выходных устройств имеет

наименование «в зоне установленных значений» или «в зоне минимум-максимум».

Характеристика на рис.2, г используется для сигнализации выхода параметра за определенные пределы. Данная логика работы выходных устройств имеет наименование «вне зоны установленных значений» или «вне зоны минимум-максимум».

Трехпозиционные регуляторы

Трехпозиционные регуляторы обеспечивают хорошее качество регулирования для инерционных объектов с малым запаздыванием.

Трехпозиционные регуляторы применяются, как и двухпозиционные для управления переключательными элементами.

Трехпозиционные регуляторы используются для систем управления уровнем различных веществ, для систем управления нагреванием-охлаждением различных тепловых процессов, холодильных установок, регулирования микроклимата подогревателем и вентилятором, для систем распределения и смешивания различных потоков веществ с помощью трехходовых клапанов, кранов, смесителей, реверсивных электродвигателей, сервоприводов и др.

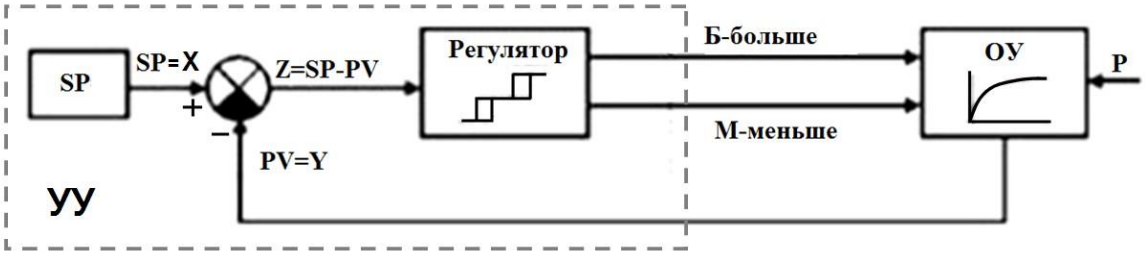


Рис. 3 Структурная схема трехпозиционной системы регулирования: сигналы Б-больше и М-меньше - управляющие воздействия

Рассмотрим работу трехпозиционного регулятора для регулирования температуры Θ в печах типа электросопротивления. При этом задают два значения температуры ΘЗД.МАХ и ΘЗД.МИН.

1) Нижний уровень Θ<ΘЗД.МИН – при уменьшении температуры ниже уставки ΘЗД.МИН, сигналом Б-больше включится электронагреватель на «треугольник» на линейное напряжение 380 В.
2) норма ΘЗД.МИН < ΘН < ΘЗД.МАХ – если температура восстановится до нормальной ΘН, то сигналом М-меньше включится электронагреватель на «звезду» на фазное напряжение 220 В.
3) Верхний уровень Θ > ΘЗД.МАХ – если температура станет выше уставки ΘЗД.МАХ, то электронагреватель отключится совсем.

Таким образом регулятор работает по закону: ΘЗД.МИН (нижний уровень) - ΘН (норма-средний уровень) - ΘЗД.МАХ (верхний уровень).

При управлении электродвигателем исполнительного механизма трехпозиционный регулятор включает его при помощи переключательных элементов на правое вращение (1 позиция), останавливает (2 позиция) или

включает на левое вращение (3 позиция).

Более распространённые современные процессы авторегулирования реализуются с применением линейных алгоритмов.

2.3.3 Пропорциональные регуляторы (П-регуляторы)

Пропорциональными, или статическими называют автоматические регуляторы, у которых при отклонении регулируемой величины от заданного значения происходит перемещение регулирующего органа пропорционально величине этого отклонения (*statos* -стоящий). Чем больше отклонение, тем больше управляющее воздействие, при этом значению сигнала на входе регулятора соответствует только одно определенное положение регулирующего органа.

Пропорциональная зависимость достигается за счет действия жесткой обратной связи, поэтому П-регуляторы называются также регуляторами с жесткой обратной связью. Скорость перемещения регулирующего органа таких регуляторов пропорциональна скорости изменения регулируемой величины.

Алгоритм регулирования П-регулятора:

$$\Delta Y_p = K_p * x_p$$

K_P – коэффициент передачи;

ΔY_P – перемещение регулирующего органа;

x_P – сигнал на входе регулятора.

В П-регуляторах всегда присутствует статическая ошибка регулирования.

Пропорциональные регуляторы могут применяться для управления процессами, протекающими в объектах, как обладающих, так и не обладающих самовыравниванием. При этом нужно иметь в виду, что изменения нагрузки должны быть невелики, чтобы статическая ошибка оставалась в допустимых пределах.

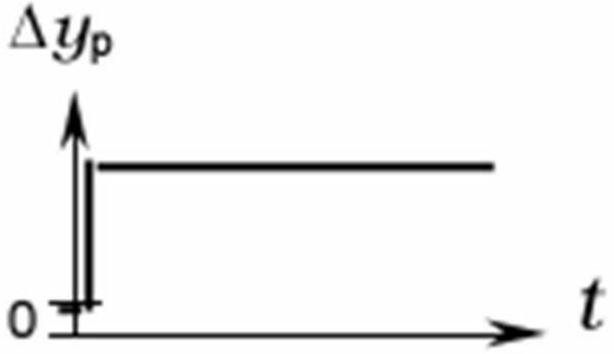


Рис. 4 Кривая разгона П-регулятора

Такие регуляторы применяются в любых объектах, например, в системах вентиляции для поддержания требуемого температурного режима в помещении и могут включать в себя таймер и дистанционное управление,

также в системах регулирования давления в трубопроводе. Они имеют максимальное быстродействие. Недостаток – это наличие статической ошибки.

2.3.4 Интегральные регуляторы (И-регуляторы)

Интегральными, или астатическими называют автоматические регуляторы, у которых одному и тому же значению входной величины регулятора могут соответствовать различные положения регулирующего органа (*astatos* – неустойчивый, беспокойный).

Скорость перемещения регулирующего органа этих регуляторов, тем больше, чем больше отклонение регулируемой величины от заданного значения, управляющее воздействие пропорционально интегралу от рассогласования)

Полное перемещение регулирующего органа И-регулятора:

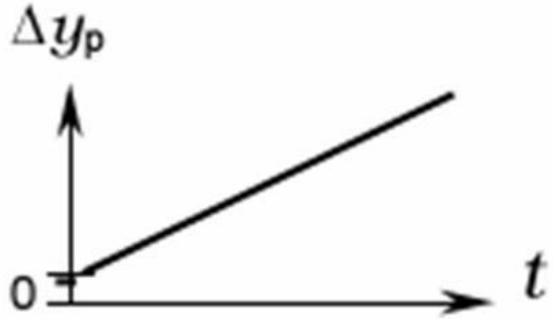


Рис. 5 Кривая разгона И-регулятора

В И-регуляторах перемещение регулирующего органа таково, что ликвидируется статическая ошибка, в отличие от П-регуляторов.

При работе И-регулятора положение регулирующего органа может изменяться при одном и том же сигнале на входе до тех пор, пока регулируемая величина не достигнет заданного значения. Свойства идеального П-регулятора аналогичны свойствам статического объекта, не обладающего инерцией (Т = 0), тогда как И-регулятор по своей характеристике повторяет свойства астатического объекта первого порядка.

И-регулятор имеет высокую точность регулирования. Применяется на любых статических объектах.

Недостаток - невозможно применять на астатических объектах.

И–регулятор применяется только в системах с самовыравниванием, в противном случае система будет неустойчивой.

2.3.5 Пропорционально – интегральные регуляторы (ПИ-регуляторы)

Сравнение П-регуляторов и И-регуляторов показывает, что первые обладают преимуществом по динамическим свойствам и обеспечивают

лучший переходный процесс регулирования (выше быстродействие); преимущество вторых – отсутствие статической ошибки (выше точность регулирования)

ПИ – регулятор совмещает оба П- и И- регуляторы

ПИ – регулятор - изодромный (от греческого *isos* - равный, подобный; *dromos*- бегущий).

При отклонении регулируемой величины от заданного значения он пропорционально переместит регулирующий орган как П-регулятор. Затем продолжит перемещение регулирующего органа до исчезновения статической ошибки, т.е. приведет регулируемую величину к заданному значению аналогично И-регулятору.

ПИ-регуляторы являются регуляторами косвенного действия. Они могут применяться на любых объектах и обеспечивают высокую точность выполнения задания.

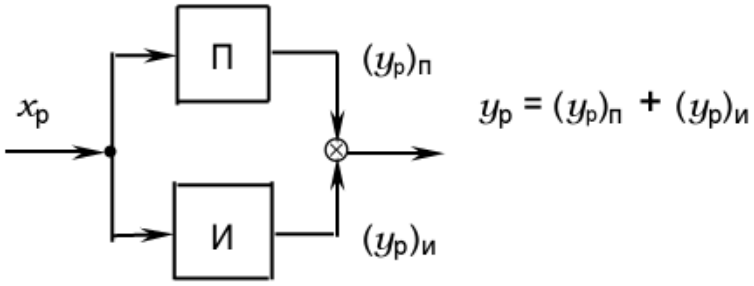


Рис. 6 Структурная схема ПИ-регулятора

$$\Delta y_P = K_P \cdot x_P + \frac{1}{T_И}\int_0^t x_P dt$$

$T_у$ – время удвоения - за это время полное перемещение регулирующего органа *ΔУР* удваивается, по сравнению с тем, которое совершает только один - пропорциональный компонент регулятора *(УР)П.*

Постоянная времени интегрирования в И-регуляторе равна времени, в течение которого с момента поступления на вход регулятора постоянного сигнала выходной сигнал регулятора достигнет значения, равного значению входного сигнала.

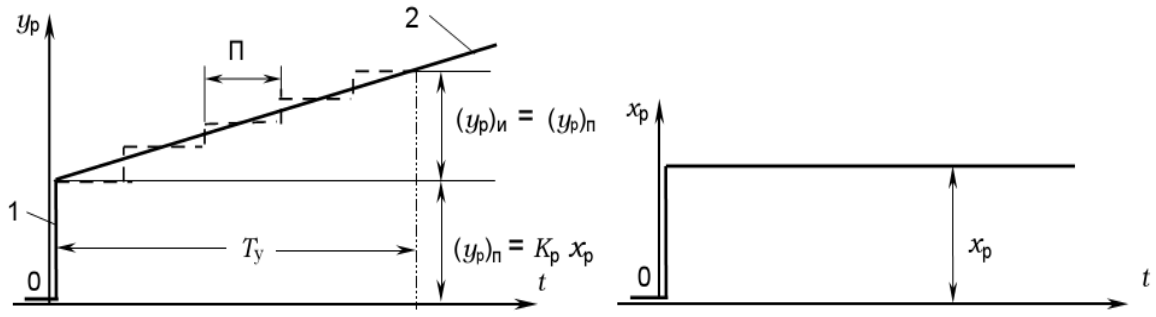


Рис. 7 Кривая разгона ПИ - регулятора:
1 - пропорциональный и 2 интегральный компоненты

Практически встречаются промышленные образцы автоматических регуляторов, которые используют не только непрерывный, но и импульсный режим действия.

В непрерывном режиме обычно работает пропорциональная компонента регулятора, так как требуется обеспечить максимально возможную скорость исполнительного механизма. Импульсный же режим оказывается удобным для настройки требуемой средней скорости исполнительного механизма путем включения его отдельными импульсами, следующими друг за другом с периодом П. Величина П оказывается в таком случае дополнительным параметром настройки, использование которого оказывается целесообразным для компенсации запаздывания объекта

2.3.6 Дифференциальные регуляторы (ПИД-)

В состав линейных регуляторов может быть введен блок дополнительного (дифференцирующего - Д) воздействия на объект по первой производной его выходного параметра. Это позволяет быстрее приводить выход объекта к его заданному значению, по сравнению с тем, когда регулятор чувствителен только к сигналу *xp*. В результате реализуются пропорционально-дифференциальные (ПД-) и пропорционально-интегрально-дифференциальные (ПИД-) законы регулирования. Однако они эффективны лишь для малоинерционных объектов, то есть объектов с малой постоянной времени и, следовательно, высокой скоростью изменения выхода.

Такие регуляторы целесообразно применять в тех случаях, когда нагрузка объектов регулирования изменяется часто и быстро, а запаздывания велики.

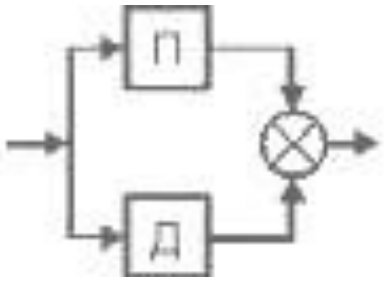


Рис. 8 Структурная схема ПД-регулятора

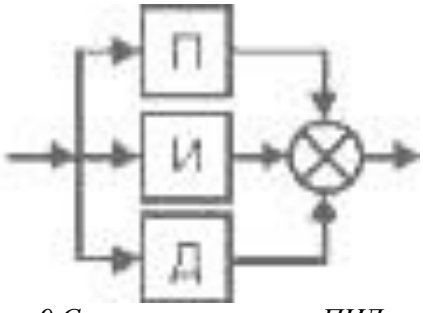


Рис. 9 Структурная схема ПИД-регулятора

Закон ПД – регулирования:

$$\Delta y_P = K_P + T_П \frac{dx_P}{dt}$$

Закон ПИД – регулирования:

$$\Delta y_P = K_P \left(x_P + \frac{1}{T_У} \int x_P dt + T_П \frac{dx_P}{dt} \right)$$

$T_П$ – называется временем предварения - постоянная времени дифференцирующего устройства, подающего на вход регулирующего устройства импульс, пропорциональный скорости изменения регулируемой величины.

Тема 4 «Функциональное оборудование СКВ как объект регулирования». Функциональная модель обслуживаемого помещения как объект регулирования. Способы управления поверхностными теплообменниками. Контактные тепло-массообменные аппараты. Оросительная камера и парогенератор. Методы управления оросительной камерой. Камера смешения как объект управления. Вентиляционные сети как объект управления.

2.4.1 Функциональная модель обслуживаемого помещения как объект регулирования.

При создании и внедрении систем автоматического регулирования (САР) вентиляции и кондиционирования воздуха необходимо знать характеристики, как определенных элементов СКВ, 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.

Наиболее широко используются методы математического описания САР на основе передаточных функций W(p), которые отражают взаимосвязь входных и выходных параметров отдельных элементов и всей системы [1].

Обобщенную структурную схему САР можно представить в виде, показанном на рис. 2.28.

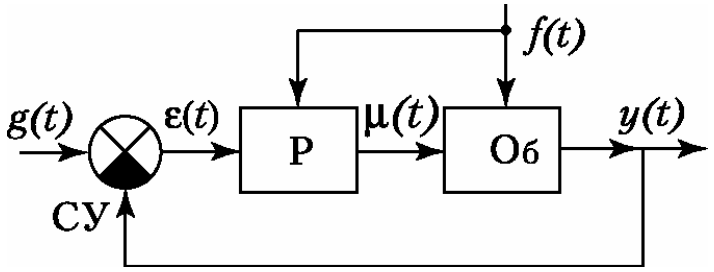


Рис. 2.28. Обобщенная структурная схема САР:

Об – объект регулирования с передаточной функцией WОб (p);

СУ – устройство сравнения;

Р – регулятор с передаточной функцией Wp(p); f(t) – возмущающее воздействие;

y(t) – регулируемая величина; ε(t) – ошибка регулирования g(t) – задающее воздействие; μ(t) – управляющее воздействие

Зная WОб (p) и задаваясь свойствами САР – передаточной функцией WС (p), можно выбрать или настроить уже выбранный регулятор – Wp (p).

Реально СКВ как объект управления достаточно сложна (рис. 2.29). Поэтому передаточные функции объекта регулирования WОб (p) определяют для отдельных функциональных элементов системы с использованием передаточных функций типовых динамических звеньев. Нахождение

передаточной функции всей СКВ как объекта регулирования производится по правилам определения суммарной передаточной функции при различном соединении звеньев.

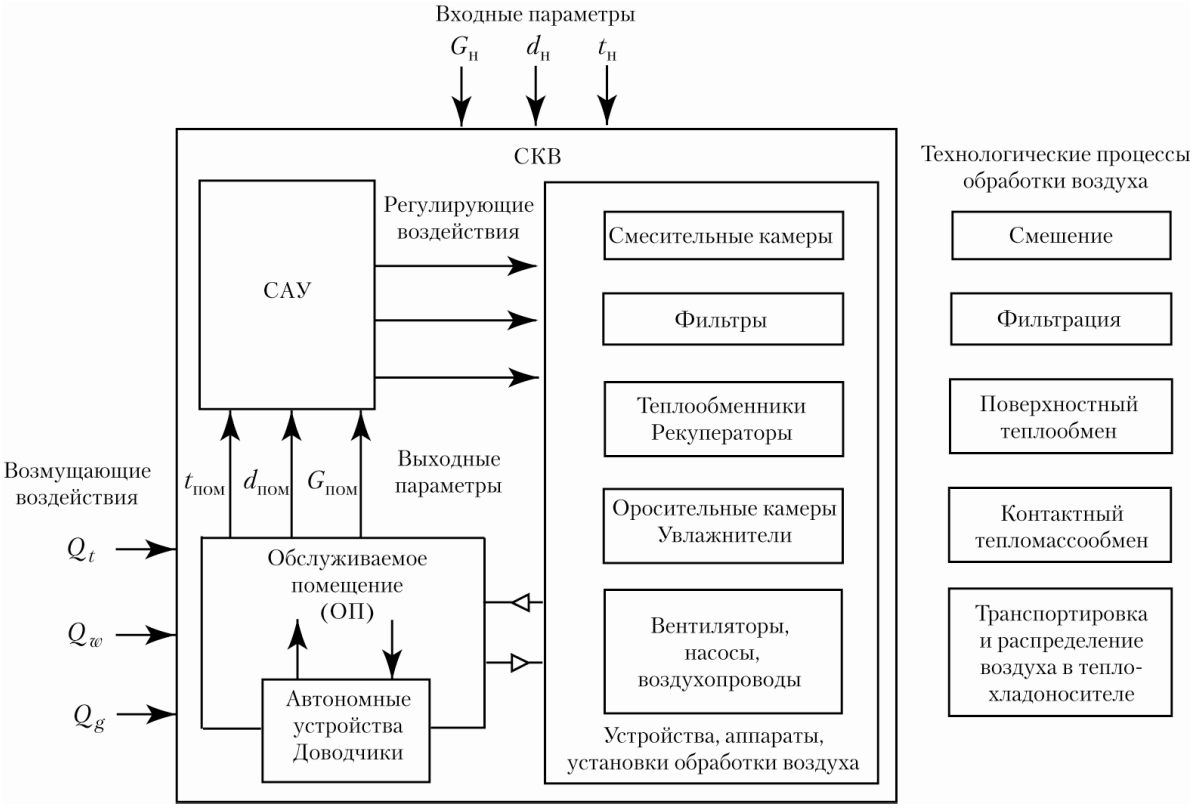


Рис. 2.29. Обобщенная структурная схема СКВ как объекта автоматизации: tн, dн , Gн – температура, влажность, расход наружного воздуха; tпом ,dпом , Gпом – температура, влажность, расход воздуха в помещении; Qt, Qw, Qg – тепловая, влажностная и газовые нагрузки

Рассмотрим наиболее типичные функциональные элементы СКВ как объекты регулирования: обслуживаемые помещения, теплообменники, камеры смешения, воздуховоды и т. п.

Обслуживаемые помещения

Основным элементом СКВ 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. Некоторые помещения могут характеризоваться

зонами с разными параметрами, что требует применения многозональной СКВ или использование местных доводчиков (автономные кондиционеры, увлажнители, фэнкойлы и др.).

На функциональной схеме обслуживаемого помещения (рис. 2.30) выделены внешние возмущающие воздействия (тепловая $Q_н$, влажностная $W_н$ и аэродинамическая $G_н$ нагрузки) и внутренние (тепловая $Q_{пом}$, влажностная $W_{пом}$ и газовая $C_{пом}$ нагрузки). Входными параметрами являются: температура $t_{пр}$, влажность $d_{пр}$ и расход подаваемого в помещение воздуха $G_{пр}$, и соответственно регулируемыми: $t_{пом}$, $d_{пом}$ и Спом. В системах комфортного кондиционирования для стабилизации заданного состояния воздуха, т. е. двух независимых переменных tпом и dпом можно использовать, в общем случае, три управляющие воздействия: tпр, dпр и Gпр. Особенности применения каждого определяются исходными условиями, ограничениями, накладываемыми на систему, а также экономическими соображениями.

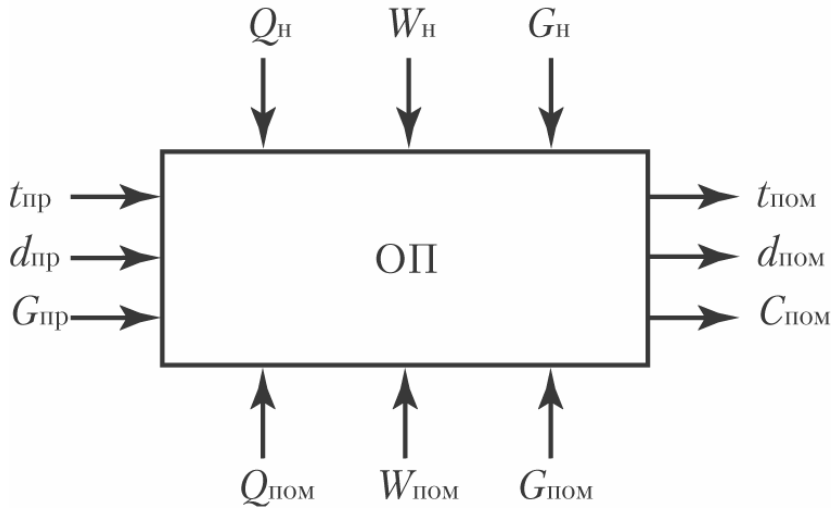


Рис. 2.30. Обобщенная функциональная модель обслуживаемого помещения (ОП) как объекта регулирования

Обычно в кондиционируемых помещениях переменна тепловая нагрузка, влажностная – относительно постоянна, а газовая – требует некоторого минимального расхода наружного воздуха.

Для такого объекта возможны три вида систем стабилизации температуры: с постоянным или переменным расходом воздуха и смешанные.

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 многозональных систем. Поэтому, наиболее распространенными являются 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.

Динамические свойства помещения зависят от кратности воздухообмена $К_в$, обобщенного размера помещения lV (отношение объема помещения $V_{пом}$ к площади поверхности ограждений F), коэффициентов теплопередачи ограждений $К_{огр}$ и постоянной времени ограждения $Т_{огр}$.

Анализ кривых переходного процесса, построенных на основании приведенной передаточной функции и экспериментальных данных, показывает, что процесс изменения температуры в помещении имеет два явно выраженных участка (рис. 2.31). На первом (А)

– процесс изменения температуры происходит быстро, скорость изменения температуры при этом зависит от кратности воздухообмена Кв. По литературным данным этот отрезок времени составляет (3–4) Кв-1. По мере поглощения теплоты ограждением и оборудованием скорость изменения температуры воздуха замедляется (участок В), проявляется инерционность ограждений ($Т_{огр}$ может составлять порядка десятка часов). Поэтому, теоретический конец переходного процесса достигается через несколько суток.

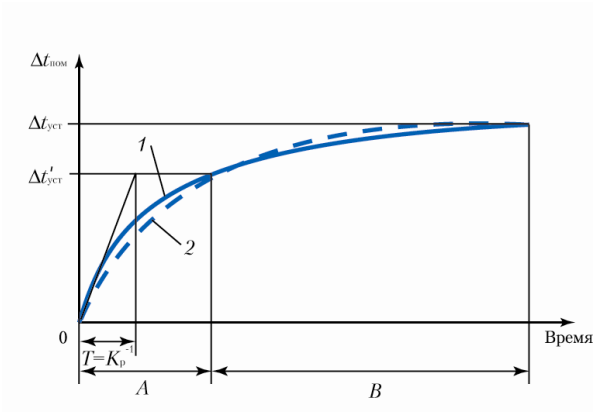


Рис. 2.31. Процесс изменения температуры в помещении: 1 – эксперимент; 2 – расчет

2.4.2 Теплообменные аппараты

В наиболее распространенных поверхностных теплообменниках типа «воздух – жидкость», «воздух–хладагент» в качестве возмущающих воздействий выступают температура жидкости на входе $tw_{вх}$, расход воздуха $G_в$, температура воздуха на входе $t_{вх}$ (рис. 2.32). Управляющими воздействиями могут быть расход жидкости G_w, температура жидкости $tw_{вх}$, расход воздуха $G_в$, а регулируемый параметр $t_{вых}$.

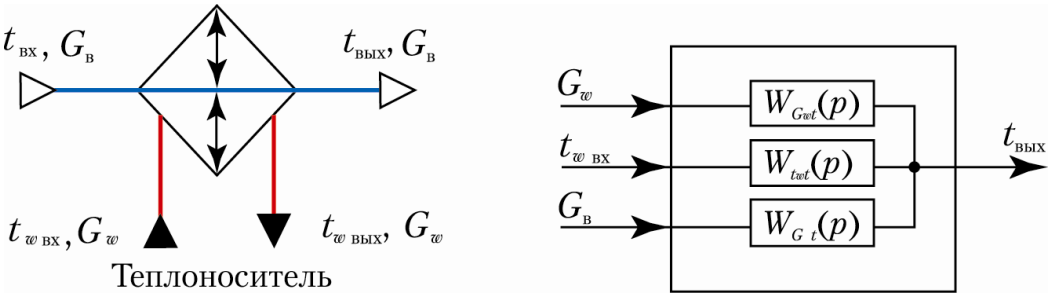
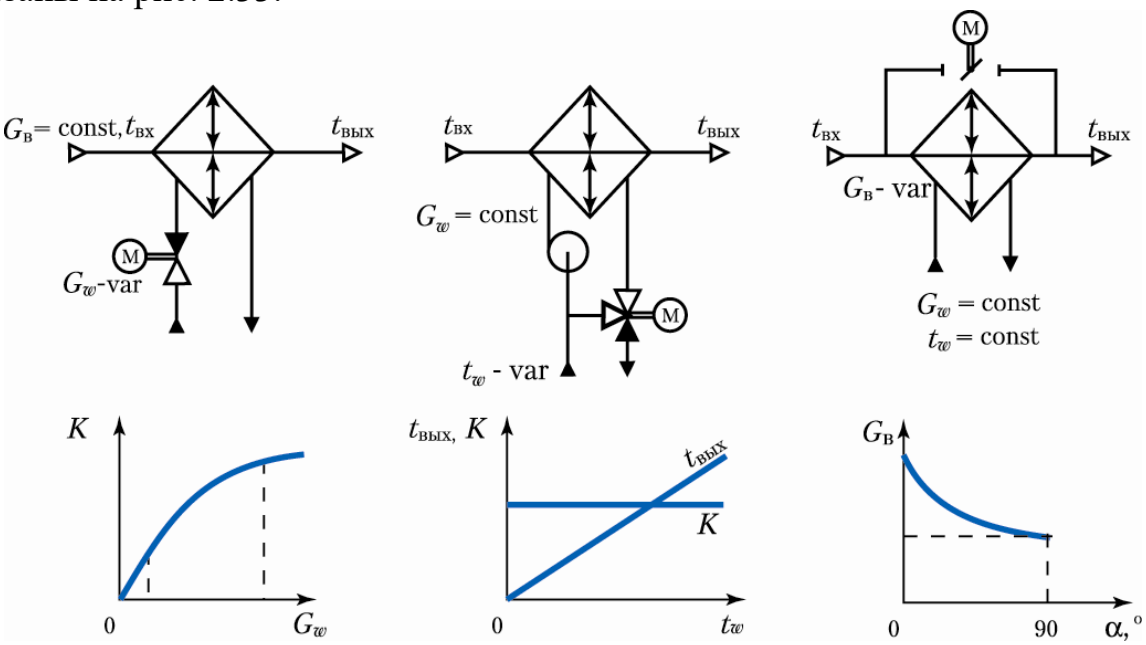


Рис. 2.32. Функциональная и структурная схемы теплообменника типа «жидкость–воздух»

Многочисленные теоретические и экспериментальные исследования показали, что в первом приближении передаточная функция такого аппарата вне зависимости от канала управления описывается типовым апериодическим звеном первого порядка.

Статическая характеристика аппарата, описываемая статическим коэффициентом передачи К, может быть также получена расчетным путем, хотя эта зависимость еще более сложная, чем для постоянного времени. Поэтому для оценки пользуются статическими характеристиками, полученными графоаналитическим методом. Кроме этого, при анализе необходимо учитывать ограничения, связанные с тем, что при температуре наружного воздуха ниже нуля и определенных скоростях потока (<0,1 м/с) создается угроза замораживания аппарата.

Управления поверхностными жидкостными теплообменниками может осуществляться по трем каналам: расходом жидкости, температурой теплоносителя и байпасированием (перепуском) воздуха. Возможные варианты их технической реализации, а также вид статических характеристик показаны на рис. 2.33.



аб в

Рис. 2.33. Способы управления поверхностными теплообменниками типа «жидкость–воздух»:

а – расходом жидкости; б – температурой теплоносителя; в – расходом воздуха

Управление расходом теплоносителя (рис. 2.33, а) – самый распространенный способ, как наиболее простой и дешевый (может быть реализован с помощью одного двухходового клапана). Однако регулировочная характеристика этого канала – зависимость выходной величины tвых от расхода жидкости – нелинейна: при малых расходах и скоростях воды tвых сильно меняются, при больших скоростях происходит так называемое «насыщение» регулировочной характеристики. Таким образом, статический коэффициент передачи К меняется во всем диапазоне регулирования. Это же относится к постоянному времени Т, сильно зависящей от расхода жидкости (2.22). Следовательно, как динамические, так и статические характеристики аппарата по этому каналу управления – нелинейны, что затрудняет настройку регулятора. В ряде случаев можно несколько спрямить статическую характеристику за счет выбора «обратной» характеристики регулировочного клапана.

Еще одним недостатком управления расходом является опасность замерзания воды в трубах при малых скоростях воды и отрицательной температуре наружного воздуха. Областью возможного применения данного метода управления является выбор нижней границы расхода Gw/зам, обеспечивающий скорость воды в трубах не менее 0,2 м/с.

Управление температурой теплоносителя (рис. 2.33, б) осуществляется с помощью двух двухходовых клапанов или одного трехходового и циркуляционного насоса. Регулировочная характеристика при этом линейна, коэффициент передачи постоянен. Если выбрать клапаны с линейной характеристикой, то управляемый аппарат по этому каналу представляется линейным объектом. При этом динамические характеристики при постоянном расходе воздуха также остаются неизменными, а при переменном расходе – меняются незначительно. По выбранной скорости воды (обычно 0,3–0,5 м/с) с учетом обвязок теплообменника определяется расход воды через аппарат и подбирается насос. При таком подходе гарантируется защита от замерзания в рабочем режиме и безопасность повышения температуры горячей воды. Таким образом, схема управления температурой теплоносителя является лучшей по своим техническим характеристикам.

Управление с помощью байпасирования воздуха (рис. 2.33, в) представлено как технически возможное, но качество регулирования, присущее такому методу, невысоки: расход теплоты или холода нельзя снизить до нуля, регулировочная характеристика нелинейная и т. д. Поэтому на практике для автоматического регулирования этот метод не применяется.

Еще следует остановиться на параметре $tw_{вых}$ – температуре воды на выходе из теплообменника. Она не является регулируемым параметром, но ее контроль необходим. Именно ее минимальная величина совместно с температурой наружного воздуха является определяющей для установки критерия срабатывания защиты от замерзания теплообменника.

Роторный рекуператор как объект управления, одноканальный, т.е. используется только одно управляющее воздействие – изменение частоты

вращения ротора, при регулируемом параметре – температуре приточного воздуха tпр. Однако данные по анализу статических и динамических характеристик роторных рекуператоров отсутствуют. Можно предположить, что при неизменных расходах приточного и удаляемого воздуха передаточная функция роторного рекуператора W(p) постоянна и соответствует типовому апериодическому звену первого порядка с инерционностью в несколько минут (при диапазоне скоростей ротора 3-11 мин-1 и максимальных скоростях воздуха до 4,0 м/с).

Возможность замерзания также присуща этому виду аппаратов. Поэтому для автоматической защиты, кроме стандартных мер снижают скорость вращения ротора, что позволяет увеличить интенсивность его нагрева теплым воздухом.

2.4.3 Контактные тепло- массообменные аппараты

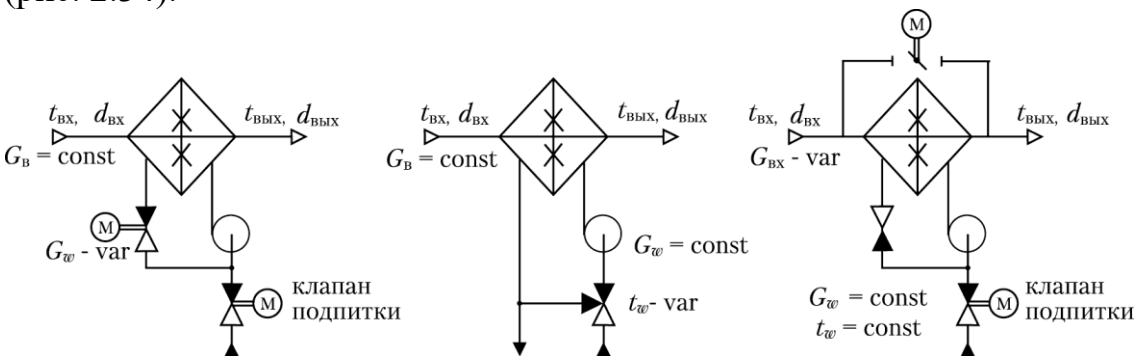
Контактные аппараты (оросительные камеры, пароувлажнители) наиболее сложные с точки зрения их представления как объектов управления. В них одновременно и взаимосвязано происходит тепло и массообмен, а, следовательно, меняется как температура, так и влажность воздуха. Управляющими воздействиями для оросительной камеры являются температура орошающей воды t_w, расход воздуха $G_в$ и расход воды G_w, а возмущающими воздействиями – $t_{вх}$ и $d_{вх}$. Режимы использования воды зависят от требуемых процессов тепловлажностной обработки воздуха. При изоэнтальпийном процессе, используется только рециркуляционная вода, если пренебречь подпиткой из водопровода не более 0,5-3,0 % испарившейся воды. В этом процессе теплосодержание (энтальпия) воздуха практически не меняется, т.к. температура воздуха близка к температуре орошающей воды, однако относительная влажность не достигает 100 % из-за кратковременности пребывания воздуха в камере.

При политропном процессе, когда происходит не только увлажнение, но и меняться теплосодержание воздуха за счет разности $t_{вх}$ и t_w, оросительная камера работает на переменной смеси холодной и рециркуляционной воды. В летний период при температуре наружного воздуха, превышающей расчетные, в камеру подается только холодная вода.

Сложность процессов тепломассообмена в оросительных камерах затрудняет получение однозначных их динамических и статических характеристик, причем, у разных исследователей отличаются не только расчетные зависимости для оценки коэффициентов передачи и постоянных времени, но и виды передаточных функций. Наиболее наглядной интерпретацией динамических процессов, происходящих в оросительной камере, является ее представление в виде двух звеньев [3]. Первое звено – дождевое пространство оросительной камеры, т. е. объем, где размещены форсунки, и происходит тепломассообмен. Его можно считать усилительным звеном с переменным коэффициентом передачи, зависящим от начальных параметров воздуха и воды, выбранного канала управления, и т. д., т. е.

нелинейным звеном.

Рассмотрим основные функциональные схемы, соответствующие технической реализации управления оросительной камерой по каналам t_w, G_w и $G_в$ (рис. 2.34).



аб в

Рис. 2.34. Методы управления оросительной камерой:
а – расходом жидкости; б – температурой теплоносителя;
в – расходом воздуха

Управление расходом воды G_w (рис. 2.34, а) производят либо дросселированием сети с помощью клапана, либо позиционно – скважностью подачи воды (скважность τ – отношение времени включенного насоса $\tau_{вкл}$ к суммарному времени включенного и выключенного состояния насоса $\tau_{вкл}+\tau_{выкл}$).

Управление расходом воздуха $G_в$ (рис. 2.34, в), проходящим через оросительную камеру, осуществляют с помощью байпасной линии, аналогично поверхностным теплообменникам. Обычно эти две схемы используются для осуществления изоэнтальпийного процесса. С уменьшением G_w при $G_в$=const эффективность увлажнения падает, а с сокращением расхода воздуха $G_в$ при неизменном G_w эффективность растет. Кроме того, при определенном снижении G_w может иметь место «сворачивание» факела воды на выходе из форсунки, что уменьшает эффективность увлажнения до нуля. Это ограничивает использование дросселирования при управлении изменением G_w.

Что касается регулировочных характеристик, то при управлении скважностью (τ) она линейна, а при изменении $G_в$ и G_w – нелинейна.

Для политропных процессов, обычно, управление ведут изменением температуры (рис. 2.34, б) с помощью двух синхронно управляемых проходных клапанов или одного смесительного в трубопроводах холодной и рециркуляционной воды. В этом случае при $G_в$=const регулировочная характеристика (зависимость между конечной температурой воздуха и начальной температурой воды) линейна.

Технологической и конструктивной особенностью оросительных камер является наличие поддона, в связи с чем возникает задача управления уровнем воды в нем. Это независимый контур управления, необходимость которого следует учитывать при построении системы управления.

2.4.4 Смесительные камеры

Смесительные камеры выполняют функции соединения потоков наружного и рециркуляционного воздуха. В них изменяется как расход воздуха, так и его термодинамическое состояние. Как звено САР смесительная камера является безинерционным усилительным звеном, характеризуемым коэффициентом передачи $K_{см}$, который находится из уравнений теплового и массового балансов.

На d-h диаграмме точка, характеризующая параметры смешанного воздуха $d_{см}$, однозначно определяется соотношением расходов $G_н$ и $G_{рц}$ прямой процесса смешения, соединяющей точки $t_н$ и $t_{рц}$.

Управление соотношением расходов наружного $G_н$ и рециркуляционного воздуха $G_{рц}$ производится воздушными клапанами и должно производиться синхронно. Переменное количество наружного воздуха достигается тем, что клапаны наружного и рециркуляционного воздуха имеют противоположное направление движения створок, а клапан удаляемого воздуха движется в одном направлении с клапаном наружного воздуха. При таком алгоритме управления клапанами обеспечивается подача санитарной нормы наружного воздуха, компенсация утечек воздуха в неплотностях ограждений помещений и постоянство производительности приточного и вытяжного вентиляторов.

2.4.5 Вентиляционные сети

В состав вентиляционной сети входят вентиляторы, воздуховоды, устройства управления расходом воздуха и датчики.

Этот вид элементов СКВ как объекта управления относится к транспортным звеньям САР, в которых может происходить изменение температуры воздуха и воды, а иногда и влагосодержания воздуха. Отсутствие или низкое качество изоляции, большая длина, малые скорости движения сред, большой перепад параметров движущейся среды и окружающего воздуха могут привести к колебательности процесса и к неустойчивости процесса регулирования. Это оказывает влияние на величину транспортного запаздывания $\tau_з$, которое определяется как отношение длины воздуховода l к средней скорости движения воздуха. На рис. 2.35 показаны разгонная характеристика изменения температуры в воздуховоде и структурная схема этого звена.

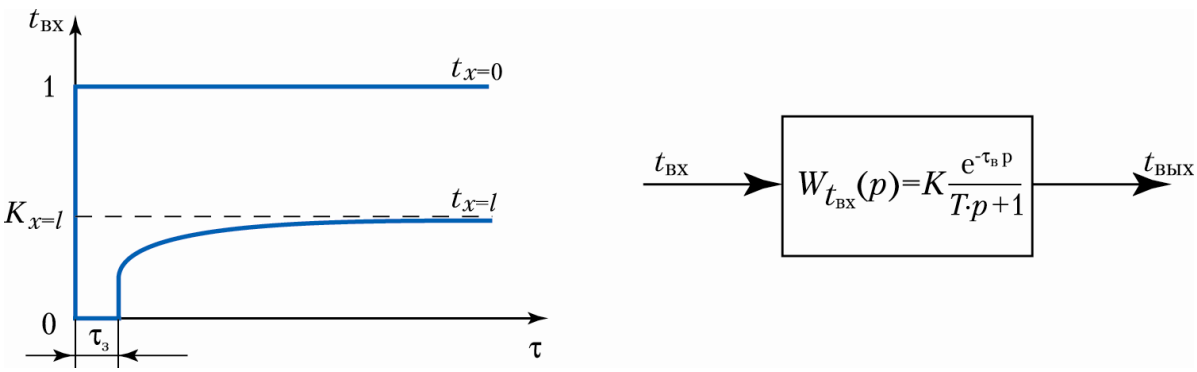


Рис. 2.35. Характеристика воздуховода как объекта управления:
а – переходной процесс изменения температуры; б – передаточная функция

При скачкообразном изменении $T_{вх}$ в начале воздуховода на выходе температура спустя время $\tau_з$ изменится небольшим скачком, а затем плавно приблизится к установившемуся значению.

Для практического использования построены зависимости коэффициента передачи K от длины l, диаметра d и скорости воздуха $V_в$.

При больших длинах воздухопроводов их влиянием на температуру воздуха пренебречь нельзя. При низкочастотных колебаниях температуры наружного воздуха (период $\tau_н$ = 24 ч) воздухопровод становится простейшим усилительным звеном. Для изолированных воздухо- и трубопроводов инерционность процесса теплопередачи в них необходимо учитывать.

При управлении процессом изменения температуры среды влияние транспортного запаздывания также подлежит уточнению. Особенно это существенно при длинных воздухо- и трубопроводах. В последних скорость воды может снижаться до 0,03–0,1 м/с и запаздывание $\tau_з$ может составлять от нескольких минут до часов. Отсюда понятны и практические рекомендации по установке датчиков и управляющих органов поближе к управляющему звену. При управлении расходом воздуха или воды при неизменной температуре влияния $\tau_з$ несущественно.

Тема 5 «Требования, предъявляемые к системам автоматизации СКВ». Общие требования. Требования, учитывающие специфику СКВ. Требования, учитывающие специфику строительного объекта.

2.5.1 Общие требования

Требования к системам автоматизации условно можно разделить на три группы:

- общие требования для всех систем автоматизации;
- требования, учитывающие специфику СКВ;
- требования к системам автоматизации, определяемые конкретной СКВ.

Общие требования для всех систем автоматизации, независимо от объекта управления, определяются рядом общегосударственных, нормативных документов. Главным из них являются: ДСТУ БА 2.4. - 3-95 (ГОСТ 21.4.08-93), СНиП 3.05.07.85 «Системы автоматизации»,

«Правила устройства электроустановок (ПУЭ)» и ДНАОП 0.00-1.32-01. В ДСТУ БА 2.4. -3-95 (ГОСТ 21.4.08-93) изложены нормы и правила выполнения рабочей документации автоматизации технологических процессов.

Сборник норм и правил СНиП 3.05.07-85 определяет порядок и правила выполнения всех работ, связанных с производством, монтажом и наладкой систем автоматизации технологических процессов и инженерного оборудования.

В ПУЭ даны определения и общие указания по устройству электроустановок, выбору проводников и электрических аппаратов по способу их защиты.

В ДНАОП 0.00-1.32-01 приведены правила устройств электрооборудования специальных установок, в т. ч. в разделах 2 и 3 – электрооборудования жилых, общественных, административных, спортивных и культурно-зрелищных зданий и сооружений, т. е. объектов, где установка СКВ обязательна.

2.5.2 Требования, учитывающие специфику СКВ

Эти требования в общем виде, представлены в разделе 9. СНиП 2.04.05-91*, и регламентируют объем обязательных функций систем автоматизации: измерения, регулирования, сигнализации, автоматических блокировок и защиты технологического оборудования и т. п.

Автоматическое регулирование параметров обязательно для воздушного отопления, приточной и вытяжной вентиляции, работающей с переменным расходом, переменной смесью наружного и рециркуляционного воздуха и тепловой мощности калориферов 50 кВт и более, а также кондиционирования, холодоснабжения и местного доувлажнения воздуха в помещениях.

Основные контролируемые параметры СКВ:

- температура воздуха и теплоносителя (холодоносителя) на входе и на выходе устройств;
- температура наружного воздуха и в контрольных точках помещения;
- давление тепло- и холодоносителя до и после устройств, где давление изменяет свое значение;
- расход теплоты, потребляемой системы отопления и вентиляции;
- давление (разность давлений) воздуха в СКВ с фильтрами и теплоутилизаторами по требованию технических условий на оборудование или по условию эксплуатации.

Необходимость дистанционного контроля и регистрации основных параметров определяется технологическими требованиями.

Датчики следует размещать в характерных точках в обслуживаемой (рабочей) зоне помещения, в местах, где они не подвергаются влиянию нагретых или охлажденных поверхностей, или струй приточного воздуха. Допускается установка датчиков в воздуховодах, если параметры в них не отличаются от параметров воздуха в помещении или отличаются на постоянную величину.

Если отсутствуют специальные технологические требования к точности, то точность поддержания в точках установки датчиков должна быть ±1 °С по температуре и ±7 % по относительной влажности. В случае применения местных кондиционеров-доводчиков с индивидуальными регуляторами прямого действия точность поддержания температуры ±2 °С.

Автоматическое блокирование предусматривается в:

- системах с переменным расходом наружного и приточного воздуха для обеспечения минимально допустимой подачи воздуха;
- теплообменниках первого подогрева и рекуператорах для предотвращения их замораживания;
- контурах воздухообмена, циркуляции теплоносителя и хладагента, для защиты теплообменников, ТЭНов, компрессоров и др.;
- системах противопожарной защиты и отключения оборудования в аварийных ситуациях.

Причиной возможного замерзания воды в трубах является ламинарное движение воды при отрицательной температуре наружного воздуха и переохлаждении воды в аппарате. При диаметре трубки теплообменника $d_{тр}$ = 2,2 см и скорости воды меньшей 0,1 м/с скорость воды у стенки практически равна нулю. Вследствие малого термического сопротивления трубки температура воды у стенки приближается к температуре наружного воздуха. Особенно подвержена замерзанию вода в первом ряду трубок со стороны потока наружного воздуха.

Выделим три основных фактора, способствующих замерзанию воды:

- ошибки, допущенные при проектировании и связанные с завышенной поверхностью нагрева, обвязкой по теплоносителю и

способом управления;

- превышение температуры горячей воды и, как следствие, резкое снижение скорости движения воды, из-за чего создается опасность замерзания воды в теплообменнике;
- перетекание холодного воздуха из-за негерметичности клапана наружного воздуха и при полном закрытии плунжера водяного клапана.

Обычно защита от замерзания теплообменников выполняется на базе двухпозиционных регуляторов с датчиками температуры перед аппаратом и в обратном трубопроводе воды. Опасность замораживания прогнозируют по температуре воздуха перед аппаратом ($t_н$ <3 °С) и одновременным понижении температуры обратной воды, например, tw_{min} <15 °С. При достижении указанных значений полностью открывают клапаны и останавливают приточный вентилятор. В нерабочее время клапан остается приоткрытым (5–25 %) при закрытой заслонке наружного воздуха.

Приведенные выше регламентированные функции автоматики СКВ не исчерпывают всех особенностей процесса и оборудования воздухообработки. Практика наладки и эксплуатации таких систем показала необходимость выполнения еще целого ряда требований. Здесь следует, прежде всего, остановиться на обязательном прогреве воздухонагревателя первого прогрева перед пуском двигателя приточного вентилятора и соблюдении последовательности включения и останова рабочего оборудования системы. На рис. 1.13 показан типовой график включения и выключения аппаратов и устройств приточно-вытяжной системы. Первым полностью открывается клапан калорифера, после его прогрева в течение 120 с подается команда на открытие воздушных заслонок, еще через 40 с включается вытяжной вентилятор и только при полностью открытых заслонках – приточный вентилятор. Кроме того, должен быть предусмотрен индивидуальный пуск оборудования, которое необходимо включать при наладке и профилактических работах.

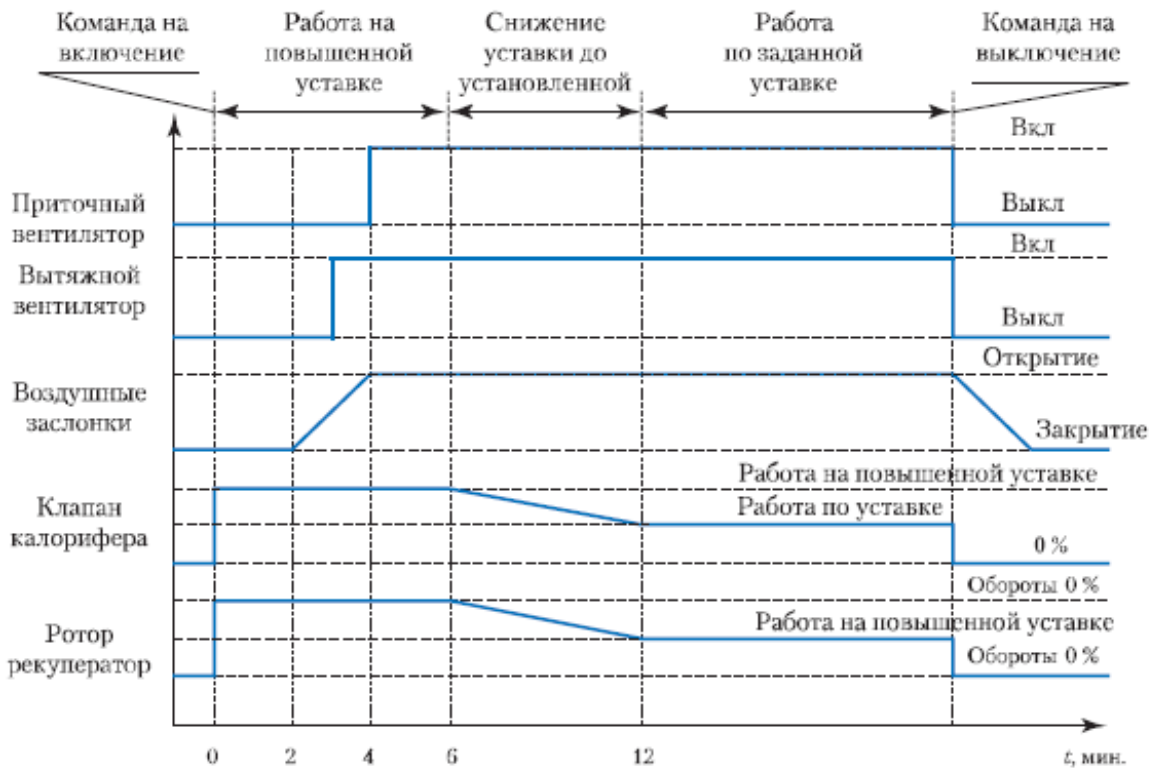


Рис. 1.13. Типовой график работы приточно-вытяжной вентиляции

2.5.3 Требования, учитывающие специфику строительного объекта

Эти требования формулируются на основе алгоритмов функционирования и управления СКВ. При этом выбор алгоритма управления определяется двумя основными качествами: точностью и экономичностью управления. Первое качество определяет выбор оптимального закона управления, второе – оптимальной программы управления. Другие показатели, такие как надежность, стоимость и т. д. накладываются как ограничения на выбранный критерий оптимальности первых двух факторов. И если определение оптимального закона управления производится специалистом по автоматизации, то определение оптимальной программы управления должно вестись совместно специалистами по кондиционированию и вентиляции и специалистами по автоматизации. При таком подходе учитываются как требования к системе автоматизации, так и к автоматизируемому объекту. На практике более распространено раздельное проектирование с выдачей технического задания или исходных данных на автоматизацию.

В этих документах обычно оговаривается:

- диапазон изменения возмущающих воздействий;
- заданные параметры состояния воздуха и требования к точности их поддержания;
- требования к поддержанию параметров воздуха в обслуживаемых помещениях в нерабочее время;
- функциональная схема объекта с техническими характеристиками выбранных аппаратов и устройств тепловлажностной обработки

воздуха;

- данные о расчетных максимальных и минимальных тепловлажностных нагрузках объекта, режимах тепловлагообработки воздуха и условия перехода от одного режима к другому;
- графики или диапазоны изменения нагрузок на протяжении суток, рабочей недели, месяца и т. п.

Эти данные необходимы для реализации программного управления СКВ в указанные периоды с целью экономии электроэнергии, затрат тепла и холода.

На основании описанных требований и исходных данных производится выбор технических средств автоматики и разрабатывается техническая документация на систему автоматизации.

Тема 6 «Техническая документация системы автоматизации СКВ». Состав технической документации. Функциональная схема автоматизации (ФСА). Схема принципиальная электрическая системы управления. Содержание принципиальной электрической схемы. Схемы соединений и подключений внешних проводок. Схемы соединений щитов и пультов. Монтажная схема распределительного щита.

2.6.1 Функциональная схема автоматизации (ФСА)

Функциональная схема автоматизации (ФСА) является основным техническим документом, определяющим структуру и функциональные связи технологического процесса и средств контроля, и управления. Разработка ФСА - см. раздел 1.1.1.

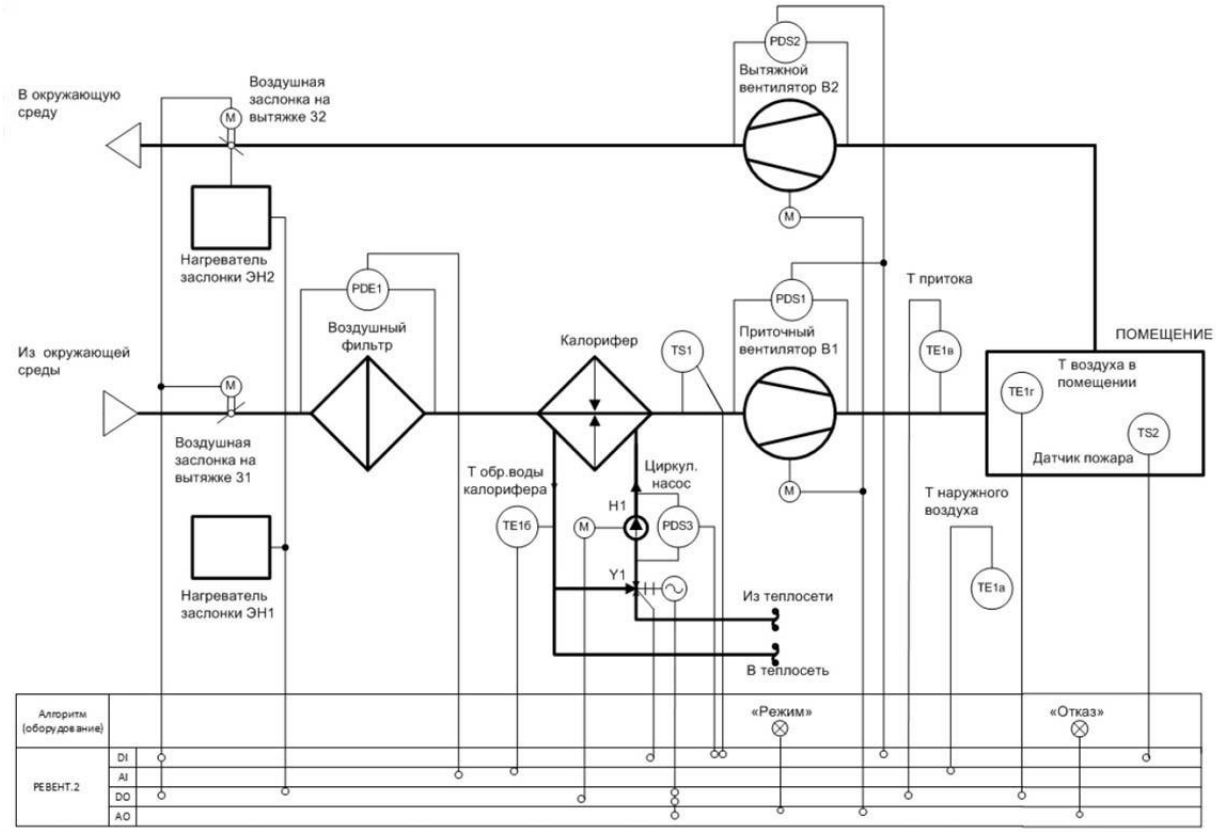


Рис. 9. ФСА прямоточного кондиционера воздуха

2.6.2 Схема принципиальная электрическая системы управления. Содержание принципиальной электрической схемы.

Принципиальные схемы объясняют принцип работы технической системы. На основании принципиальных схем разрабатываются такие документы проекта, как монтажная схема распределительного щита и схемы внешних соединений.

Электрические схемы выполняют в соответствии со стандартами на отдельные установки и участки автоматизированной системы (например, схема управления двигателями вентилятора, схемы регулирования

температуры приточного воздуха и др.). В эти схемы включают: элементы схемы, устройства и линии взаимосвязи между ними.

Элемент схемы — составная часть схемы, которая выполняет определенную функцию в изделии и не может быть разделена на части (реле, трансформатор, резистор, диод и т.д.).

Устройство — совокупность элементов, выполняющая определенную функцию и представляющая собой единую конструкцию (блок, прибор, плата и т.д.).

Линия взаимосвязи — отрезок линии, указывающий на наличие связи между элементами и устройствами.

Устройства (за исключением исполнительных механизмов) показывают упрощенно в виде прямоугольников. При этом в кружках, располагаемых по контуру прямоугольника, показывают обозначения входных и выходных линий связи и питания. Буквенно-цифровые обозначения элементов и устройств на электрических схемах регламентированы. Обозначение участков цепей служит для их опознания и отражает их функциональное назначение. Все участки цепей, разделенные контактами аппаратов, обмотками, приборами, резисторами и другими элементами имеют разное обозначение. Участки цепей, проходящие через разъемные, разборные и неразборные контактные соединения, должны иметь одинаковое обозначение.

Для обозначения цепей применяют арабские цифры и прописные буквы латинского алфавита (реже кириллицу). Примеры обозначений участков цепей: 1, 25, 104; фазы L1, L2, L3 или A, B, C; N — нулевой рабочий провод; PE — нулевой защитный провод.

Принципиальные однолинейные расчетные схемы

Основными требованиями к чертежам принципиальных однолинейных расчетных схем (далее — однолинейные схемы) являются информативность и читаемость.

Однолинейная схема оформляется на листах основных и производных форматов с основной надписью по форме 3. Схемы выполняют без соблюдения масштаба.

Графические обозначения элементов (устройств, функциональных групп) и соединяющие их линии связи следует располагать на схеме таким образом, чтобы обеспечить наилучшее представление об электроустановке, ее структуре и взаимодействии ее частей.

Однолинейные схемы (принципиальные схемы питающей и распределительных сетей, магистральных и групповых щитков освещения) внутреннего электрического освещения должны оформляться в соответствии с.

На однолинейных схемах показывают:

– данные питающей и распределительных сетей (установленная, расчетная мощности, кВт; расчетный ток, А; cos φ; длина, м; момент мощности, кВт/м;

потери напряжения, %);
– типы и параметры аппаратов защиты и управления;
– маркировки, типы, сечения и длины проводников, способы их прокладки;
– условные обозначения электроприемников;
– номер по плану электроприемника;
– мощности электроприемника (установленная или номинальная, расчетная), кВт;
– расчетный ток электроприемника, А;
– наименование потребителя электроэнергии;
– место расположения потребителя электроэнергии;
– номинальное напряжение питания электроприемника.

Однолинейные схемы различают либо по типу электрических сетей, либо по функциональному назначению:
– однолинейная расчетная схема электроснабжения;
– однолинейная расчетная схема распределительной панели (например, РП № 1);
– однолинейная расчетная схема силового щита (например, ЩС № 1);
– однолинейная расчетная схема щита рабочего освещения (например, ЩО № 1); и т.д. Примеры оформления однолинейных расчетных схем представлены в прил. 3.

Приводятся следующие требования к оформлению принципиальной схемы, питающей и распределительной сетей.

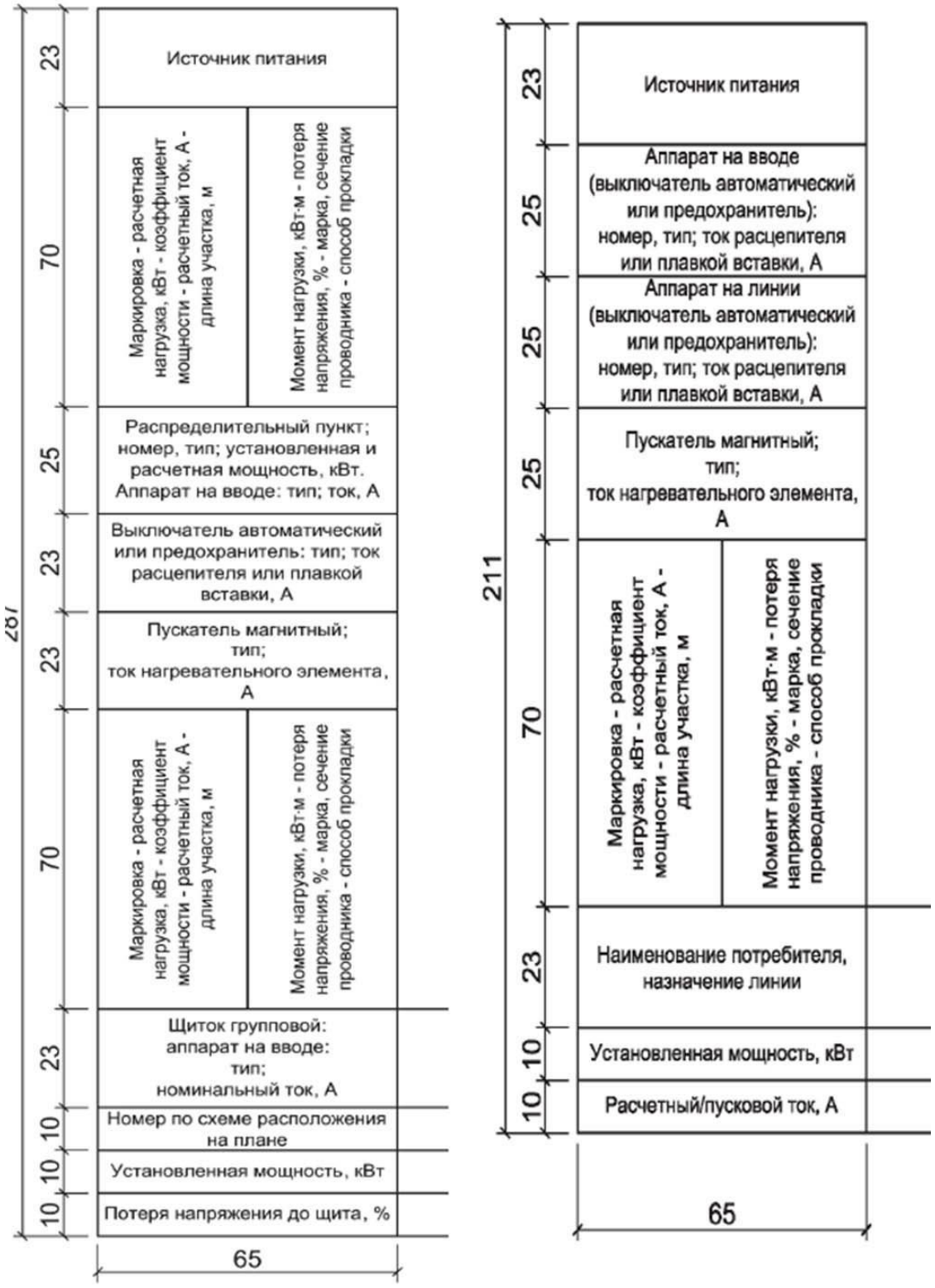
Принципиальные схемы питающей и распределительной сетей, магистральных и групповых щитков освещения выполняют в однолинейном изображении.

Боковики принципиальных схем питающей и распределительной сетей выполняют по форме 4 (рис. 6, *а*), магистральных и групповых щитков освещения — по форме 5 (рис. 6, *б*).

Допускается выполнять боковики схем питающей и распределительной сетей, магистральных и групповых щитков освещения (формы 4 и 5) по другим формам при условии, что в них содержатся все технические данные, предусмотренные формами 4 и 5.

Принципиальные схемы питающей и распределительной сетей допускается выполнять с учетом расположения электрического оборудования по частям и этажам здания.

Поясняющие надписи на принципиальной схеме питающей сети, выполняемой с учетом расположения электрического оборудования по частям и этажам здания



а *б*

Рис. 6. Боковик однолинейной схемы:

а — форма 4 — для питающей и распределительной сетей; б — форма 5 — для магистрального и группового щитка освещения

Для сетей, где целесообразно выполнение принципиальных схем с учетом расположения электротехнического оборудования в здании, для совмещенных сетей силового электрооборудования и электрического освещения, для лабораторных и других разветвленных сетей с несколькими напряжениями, частотами допускается выполнение принципиальных схем по произвольной форме при условии сохранения всех технических данных, предусмотренных формой

В настоящее время принято оформление боковиков принципиальных однолинейных расчетных схем, отличных от ГОСТов.

2.6.3 Схемы соединений щитов и пультов. Монтажная схема распределительного щита.

Монтажные чертежи и схемы соединений показывают взаимное расположение приборов и устройств на щитах и пультах и их взаимосвязь. Конструкция щитов и пультов, а также места установок и расположения на них устройств изображаются на чертежах общих видов. Чертежи общих видов должны выполняться в строгом соответствии со стандартом ЕСКД. В зависимости от функционального назначения щита и его конструктивных особенностей эскизный чертеж единичного щита содержит:

– спецификацию, в которую кроме технических средств автоматизации входят изделия для установки и монтажа, кабели и провода;
– вид спереди;
– вид на внутренние плоскости;
– таблицу надписей.

В отличие от чертежей общих видов схемы соединений щитов и пультов выполняют без соблюдения масштабов. На схеме соединений изображают все элементы и устройства, входящие в состав щита или пульта. При этом их расположение должно примерно соответствовать действительному размещению в изделии. Устройства изображают в виде прямоугольников или условных графических обозначений с отображением всех выводов (контактов) для подключения проводников. На схеме указывается: для проводов — марка, сечение и, при необходимости, расцветка; для кабелей — марка, количество и сечение жил. Схемы соединений выполняют различными способами, но во всех случаях должны быть обозначены все контактные элементы, через которые осуществляются электрические соединения, и отходящие от них проводники. На простых схемах полностью показывают все проводники, которыми соединяются аппараты, приборы и другие элементы, и чтение таких схем не вызывает трудностей.

В качестве примера рассмотрим схему соединений распределительного шкафа вентиляционной установки (рис. 7).

Расположение аппаратуры на схеме примерно соответствует фактическому размещению в конструкции шкафа. Рядом с каждым аппаратом проставлен порядковый номер и позиционное обозначение.

Внутри каждого элемента проставлена нумерация выводов, соответствующая заводской маркировке.

Монтаж силовых цепей показан прямым соединением проводников между аппаратами. Соединения цепей управления выполнены адресным методом. Так, электрическая цепь 104 (рис. 7) выполнена следующим образом: выводы 2 и 4 переключателя 1SA1 (аппарат 9) замкнуты между собой, а с вывода 2 выходит провод 11–1 (аппарат 11, вывод 1).

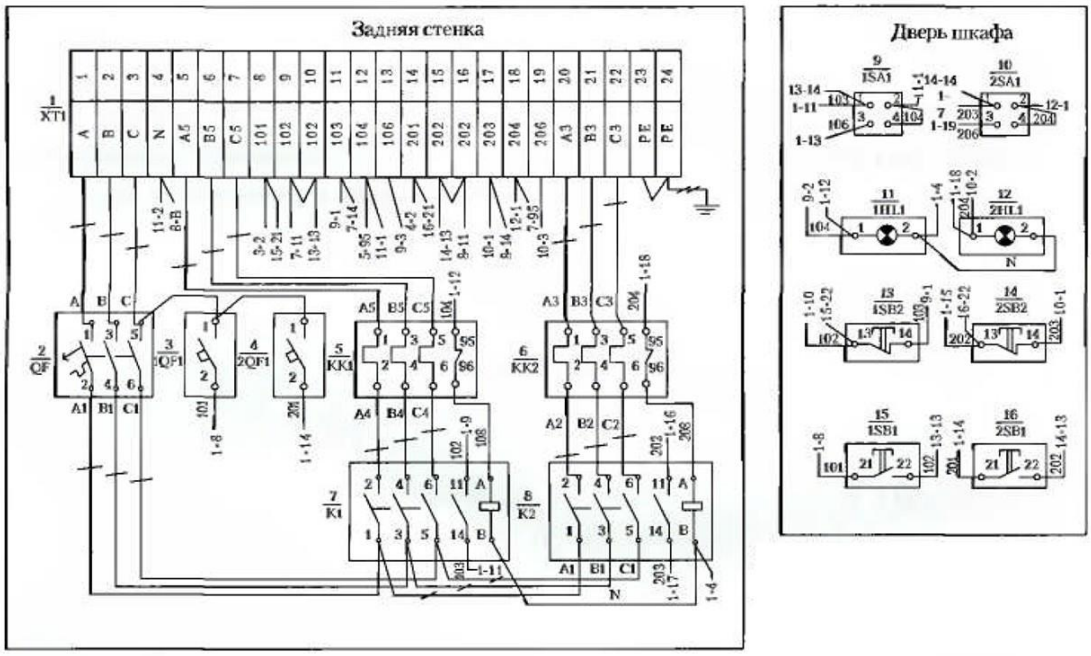


Рис. 7. Схема соединений распределительного щита

Второй конец этого провода на лампочке 1HL1 (аппарат 11) имеет маркировку 9–2 (аппарат 9, вывод 2). Кроме того, с вывода 1 аппарата 11 отходит провод 1–12 (на клеммник XT1), который на втором конце имеет маркировку 11–1. Провод, соединяющий клеммник 12XT1 с контактом теплового реле КК1, имеет маркировку 5–95 и 11–2 соответственно со стороны клеммника и реле.

На поле чертежа схемы указано, какие провода каким проводом монтировать, а для защитного нулевого провода — и его цвет. На поле чертежа могут быть также указаны способы ведения монтажа. Например: «Монтаж выполнить с использованием перфорированных коробов 25х25 мм с их установкой по месту»; «Провода, соединяющие клеммник XT1 с аппаратурой на двери шкафа, выполнить в виде жгута в спиральной трубке диаметром 10 мм» и т.п.

Если по техническим условиям на аппаратуру прокладка проводов в жгутах недопустима (например, компенсационные провода) или необходимо применение экранированного провода, то такие проводки на схеме изображают пунктиром. При этом концы экранов должны быть соединены с нулевым защитным проводником PE.

Схемы подключения внешних проводок

Правильное взаимодействие всех элементов автоматики и нормальная работа всей системы возможны только при соединении их в соответствии со схемами подключения внешних проводок. Как и для монтажных схем, соединение внешних проводок может быть выполнено в виде схем или таблиц. Схемы подключения выполняют, как правило, раздельно для каждого автоматизированного блока, монтаж которого осуществляют

независимо от других. При этом в наименовании схемы дополнительно указывают наименование блока. Например, «Электроприводы вентиляторов. Схема внешних проводок».

Технические средства, для которых на схемах приводят подключения электропроводок, изображают упрощенно внешними очертаниями или в виде прямоугольников. Входные и выходные элементы (контакты) устройств показывают в виде кружков (для круглых штепсельных разъемов) или прямоугольников (например, для блоков клеммных соединителей, DIN-рейки с набором клеммных соединителей).

Внутри прямоугольника или на полке линии выноски указывается наименование технического средства, обозначение, а также номер листа чертежа установки.

Обозначения жил кабелей и проводов на схемах и таблицах подключений принимают в соответствии с принципиальными электрическими схемами.

Внешние электрические проводки выполняют отдельными сплошными толстыми линиями. При этом проводки, проложенные в коробах, изображают двумя параллельными тонкими линиями на расстоянии 3–4 мм друг от друга. Для каждой проводки над изображающей ее линией указывают техническую характеристику (тип, марка кабеля, провода, трубы и т.д.) и длину проводки. Кабелям и жгутам проводов присваивают порядковые номера. Порядковые номера кабелей в коробах присваивают с добавлением буквы «К».

Номера проводок указывают в окружностях, помещаемых в разрыве линий. Схема подключения внешних проводок управления электроприводами приточного и вытяжного вентиляторов показана на рис. 8.

Подвод питания осуществляется от электросети кабелем № 1 марки ВВГ, пятижильным, сечением 1,5 мм2, проложенным в пластмассовой трубе длиной 5 м.

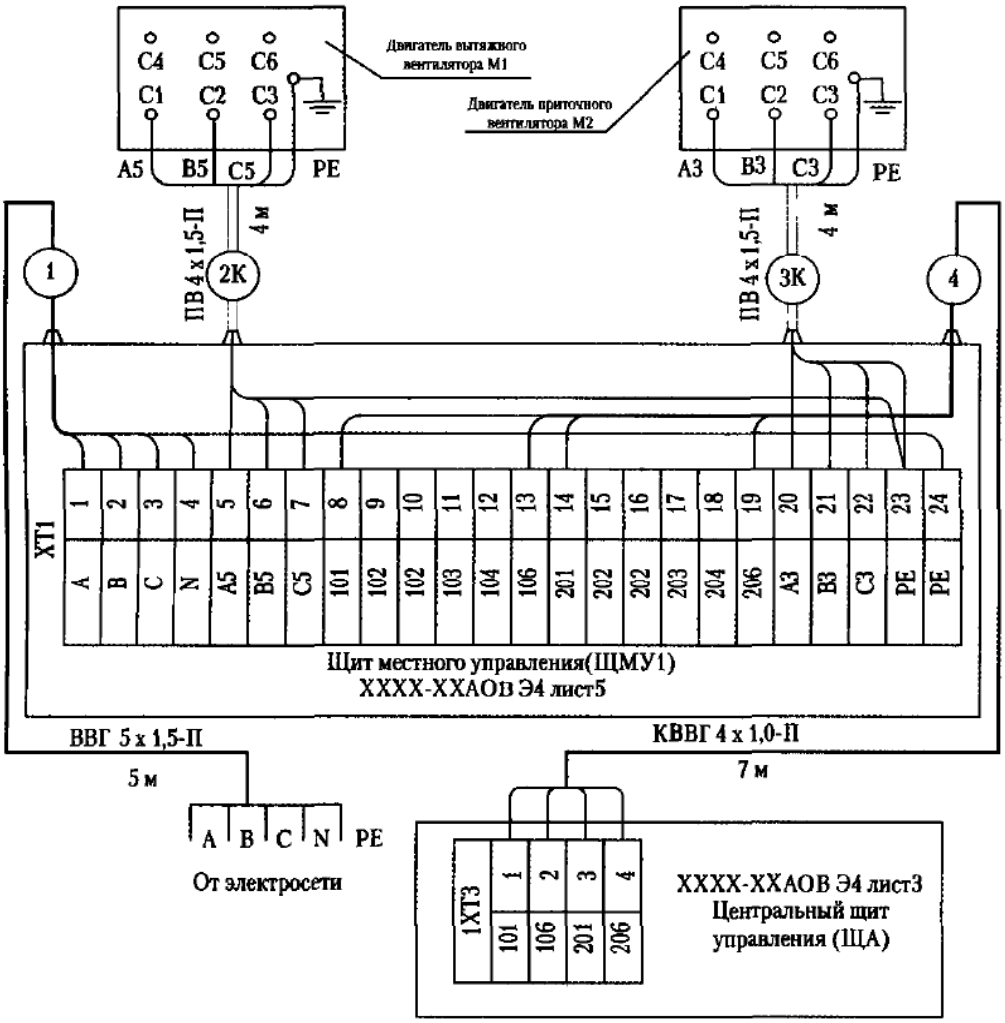


Рис. 8. Схема подключения внешних проводок

Электродвигатели М1 и М2 связаны со щитом местного управления ЩМУ1 трассами 2К и 3К, каждая из которых выполнена 4 медными проводами марки ПВ сечением 1,5 мм2, уложенными в пластмассовом коробе длиной 4 м. Дистанционное управление двигателями от центрального щита управления ЩА осуществляется с помощью 4-жильного контрольного кабеля КВВГ сечением 1,0 мм2, проложенного в пластмассовой трубе длиной 7 м.