

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ В СИСТЕМАХ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ КОМПЛЕКСА АЛТГТУ

М.В. Радченко, Т.Б. Радченко, М.И. Стальная

Системы теплоснабжения жилых, общественных и промышленных зданий – крупнейшие потребители топливно-энергетических ресурсов. На их нужды ежегодно расходуется около 40% всего добываемого в стране твердого и жидкого топлива. Самыми крупными потребителями являются системы централизованного отопления (СЦО). В этих системах порядка 50% тепловой энергии, выработанной на центральной котельной, теряется на преодоление потерь при транспортировке теплоносителя к потребителю. Для компенсации этих потерь на ТЭЦ вынуждены поддерживать более высокую, чем необходимо, температуру теплоносителя.

В результате происходит массовый перегрев зданий в переходные периоды отопительного сезона и обусловленный этим перерасход топлива или дефицит тепла.

Эффективными мероприятиями по экономии тепловой энергии в системах теплоснабжения являются оптимизация режимов работы этих систем с использованием прогрессивного технологического оборудования, средств автоматического управления процессом выработки и распределением теплоносителя, применение энергосберегающих технологических схем, вторичных энергетических ресурсов и др.

Автоматическое управление процессом выработки и распределение теплоносителя позволяет рационально использовать энергию теплоносителя, существенно повысить качество и надежность поддержания требуемого микроклимата в зданиях, сооружениях, что дает не только технико-экономический эффект, но и имеет большое социальное значение. Создание комфортных тепловых условий для человека в помещениях необходимо для здоровья человека и важно для повышения его творческой активности.

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, находящийся в СЦО, является одним из крупнейших за Уралом вузом не только по численности студентов, но и по комплексу учебных, хозяйственных и технических сооружений. Поэтому проблема энергосбережения и

автоматического регулирования теплового режима всего комплекса зданий является чрезвычайно важной.

Для реализации программы энергосбережения в АлтГТУ на кафедре «Автоматизированный электропривод и электротехнологии» (АЭПиЭТ) совместно с НИИ Вакуумных Технологий при АлтГТУ была поставлена и решена задача разработки и внедрения автоматического управления в системах теплоснабжения АлтГТУ с централизованной диспетчеризацией при принудительной циркуляции теплоносителя в отопительных контурах и автоматическим погодозависимым регулированием температуры подачи.

Работа была выполнена сотрудниками и студентами-дипломниками кафедры с привлечением одной из профильных энергетических компаний.

1. Структурная схема системы теплоснабжения комплекса университета

Для правильного решения вопросов автоматического управления режимами работы систем теплоснабжения необходимо располагать достаточно полной информацией о характере нестационарных процессов, происходящих в этих системах.

Особенностями системы централизованного теплоснабжения как объекта автоматического управления являются сложность и иерархический характер ее структуры, влияние многочисленных случайных факторов на режим ее работы.

Система состоит из большого числа последовательно и параллельно включенных однотипных элементов (звеньев), обладающих различными динамическими свойствами. Следует отметить значительное разнообразие конструкций этих однотипных элементов и широкий диапазон режимов их работы. При этом условия эксплуатации тепловые и гидравлические режимы системы влияют на динамические свойства отдельных элементов. Таким образом, свойства элементов не являются постоянными, а изменяются в течение отопительного

периода в зависимости от условий работы.

К этому надо добавить, что физическая основа большинства звеньев делает обязательным учет распределенности параметров при описании их динамических свойств.

И, наконец, следует указать, что процесс управления режимами работы системы теплоснабжения характеризуется вмешательством человека на различных уровнях иерархии ее структуры: от главного диспетчера энергосистемы – теплового источника, до непосредственного потребителя тепла - в отапливаемых помещениях АлтГТУ.

Указанные особенности системы теплоснабжения университета как объекта управления делают невозможным составление детальной формализованной модели всей системы в целом, и заставляют ограничиться разработкой некоторого комплекса упрощенных математических моделей, рассчитанных на решение определенных конкретных задач.

При анализе динамических свойств системы централизованного теплоснабжения целесообразно ее рассматривать как совокупность большого числа теплообменных устройств, объединенных в единую систему генерации, транспортировки и отпуска тепла, которые могут быть разделены по видам теплопередачи, физическим свойствам теплоносителей и конструктивному выполнению [1].

На основании результатов рассмотрения отопительной схемы АлтГТУ, режимов работы и возмущающих воздействий была составлена структурная схема системы теплоснабжения (рис. 1), охватывающая основные связи технологических параметров, как отдельных элементов, так и системы в целом. Анализ схемы показал, что теплоноситель с температурой t_1 , выработанный на ТЭЦ (источник тепла 1), поступает через магистральные трубопроводы 2 на центральный тепловой пункт 3 (ЦТП 3).

При транспорте теплоносителя потери энергии составляют порядка 50% и значение температуры теплоносителя t_2 на входе будет ниже t_1 так, как на трубопроводы действует возмущающая величина $t_{окр.ср.}$. После ЦТП теплоноситель температурой t_3 (т.к. в ЦТП возмущение $t_{г.в.}$) поступает через внутриквартальные трубопроводы 4 в абонентский ввод 5 при этом снова возникают потери за счет окружающей среды.

Далее теплоноситель температурой t_4 через единицу регулирования поступает в систему отопления 6. Необходимое регулирование температуры t_5 обеспечивается за счет датчика 8. На температуру помещения оказывают влияния различные возмущающие величины такие как температура наружного воздуха t_n , скорость ветра V , а также солнечное излучение R . Температура помещения $t_в$ в свою очередь является возмущающей величиной для системы отопления. На рис. 1 представлен один контур АлтГТУ, регулирование остальных контуров обеспечивается аналогично после абонентского ввода.

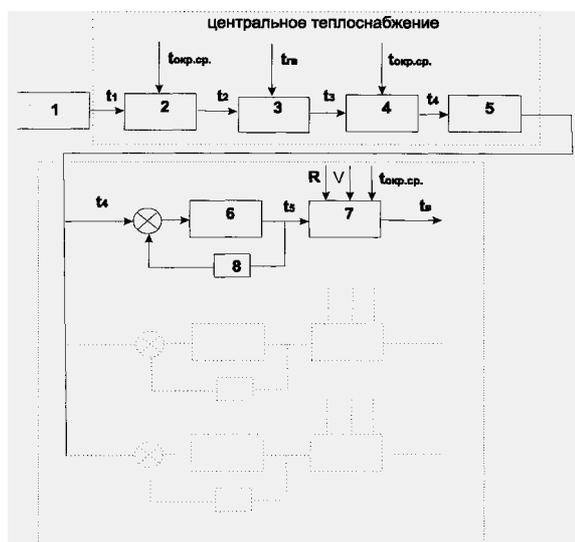


Рисунок 1 – Структурная схема системы теплоснабжения АлтГТУ:

- 1 - источник тепла (котел);
- 2 - магистральные трубопроводы;
- 3 - центральный тепловой пункт (ЦТП);
- 4 - внутриквартальные трубопроводы;
- 5 - абонентский ввод;
- 6 - система отопления АлтГТУ;
- 7 - отапливаемое помещение АлтГТУ;
- 8 - датчик температуры подачи

На рис. 1. приняты следующие обозначения:

t_1, t_2, t_3, t_4, t_5 - температуры теплоносителя в различных точках системы теплоснабжения; $t_{окр.ср.}$ - температура среды, окружающей трубопровод; $t_{г.в.}$ - температура на горячее водоснабжение; R - интенсивность солнечного облучения; t_n - наружная температура; V - скорость ветра; $t_в$ - температура в помещении.

Из анализа схемы центрального теплоснабжения видно, что весь университет

как объект управления является сложной структурой из множества звеньев, на всех этапах которых, происходят потери тепловой энергии, обусловленные влиянием возмущающих воздействий. Основной процент потерь происходит при транспортировке тепла (до 50%). Поэтому можно сделать выводы, что внедрение собственного источника тепла (котельной) позволит исключить эти потери и повысить к.п.д. системы. Но даже при собственной автоматической выработке тепла необходимо его правильное распределение по контурам АлтГТУ. Также необходимо учесть, что на отапливаемые помещения влияют тепловые потери зданий и различные возмущающие воздействия. Это можно устранить, применив автоматическую систему управления распределением и выработкой на базе современных методов регулирования.

2. Методы и способы управления тепловым режимом

Управление тепловым режимом сводится к поддержанию его на заданном уровне или изменению в соответствии с заданным законом.

В зависимости от места осуществления регулирования различают центральное, групповое, местное и индивидуальное регулирование (рис. 2) [2].



Рисунок 2 – Способы управления тепловым режимом

Использование теплоаккумулирующей способности стен помещений АлтГТУ позволяет проводить регулирование отпуска теплоты на отопление не по текущей температуре наружного воздуха, а по средней наружной температуре за некоторый период с соответствующим сдвигом времени.

На рис. 3. показаны температуры внутренней и наружной поверхностей наружной стены здания АлтГТУ при двух режимах отопления: а) в нормальном режиме, когда подача теплоты на отопление равна тепловым потерям здания; б) в режиме

недогрева, когда подача теплоты на отопление меньше тепловых потерь здания.

При нормальном режиме; внутренняя температура в здании t_B , а также температуры поверхностей наружных стен стабильны - линия t_B, t_{c1}, t_{c2}, t_H ; t_B - внутренняя температура; t_{c1} - температура внутренней поверхности стены; t_{c2} - температура наружной поверхности стены; t_H - наружная температура.

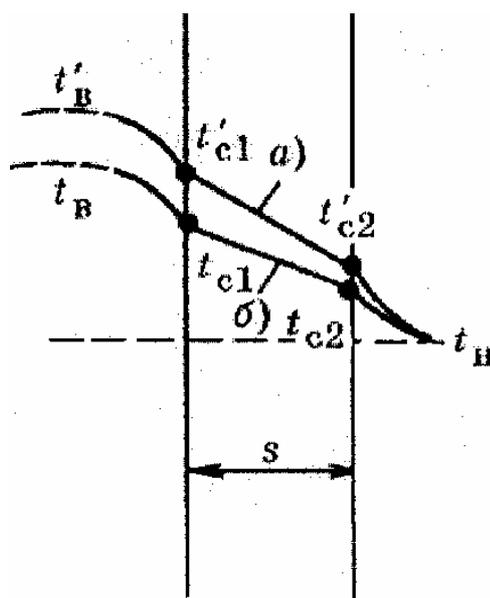


Рисунок 3 – Наружная и внутренняя температура поверхности стены здания АлтГТУ

Количество теплоты, аккумулированной при этом режиме в наружной стене здания, рассчитывается по формуле [4]

$$Q_{ак} = F s \rho c_p \left[\frac{t'_{c1} + t'_{c2}}{2} - t_H \right] = F s \rho c_p \left[t'_{c.c.p} - t_H \right],$$

где F - сплошная поверхность наружной стены (за исключением окон и дверей), m^2 ;
 s - толщина стены, m ;
 ρ - плотность материала стены, kg/m^3 ;
 c_p - теплоемкость материала стены, $kJ/(kg \cdot ^\circ C)$;
 $t'_{c.c.p}$ - средняя температура наружной поверхности стены, $^\circ C$;
 t_H - наружная температура, $^\circ C$.

При режиме недогрева, когда подача теплоты на отопление ограничена, тепловые потери здания частично возмещаются за счет теплоты, аккумулированной в наружных стенах здания. При этом происходит

снижение температуры стены: внутренней поверхности от t_{c1} до t_{c1}^* , а наружной от t_{c2} , до t_{c2}^* .

Снижение средней температуры наружной стены в режиме недогрева по сравнению с нормальным режимом определяется выражением:

$$\Delta t_{c,sp} = \left[\frac{t'_{c1} + t'_{c2}}{2} - \frac{t_{c1} - t_{c2}}{2} \right],$$

Преобразование дифференциального уравнения теплового баланса здания университета за бесконечно малый период времени позволило получить коэффициент тепловой аккумуляции здания АлтГТУ. Физический смысл коэффициента тепловой аккумуляции помещений АлтГТУ можно сформулировать так: коэффициент тепловой аккумуляции здания β_r - это период времени, в течение которого при выключенном отоплении разность между внутренней температурой в здании и наружной температурой изменяется в $e = 2,72$ раза.

Анализ динамики тепловых потерь отапливаемых зданий при изменениях метеорологических условий показывает, что их следует рассматривать в виде векторной суммы тепловых потерь через теплоемкие и нетеплоемкие ограждения (рис. 4). Передаточная функция отапливаемого здания (помещения) по тепловому потоку от изменения метеорологических условий имеет вид:

$$W_{пом} = W_M + W_B - k_{пом} [(1-\psi) + \psi e^{-p\tau} (T_p + 1)^2],$$

где W_M, W_B - передаточные функции по каналу медленных и быстрых тепловых потерь; $k_{пом}$ - статический коэффициент теплопередачи отапливаемого помещения по тепловому потоку от изменения метеорологических условий.

Значения коэффициента ψ зависят от теплотехнических характеристик ограждений и архитектурно-планировочных характеристик отапливаемых помещений. Для зданий старого жилищного фонда коэффициент ψ обычно находится в пределах 0,4 - 0,8. Для АлтГТУ с облегченными стеновыми конструкциями и увеличенной площадью остекления значения ψ можно принимать равными 0,2—0,4 (рис. 5).

В связи с указанными динамическими свойствами наружных ограждений

необходимо при автоматическом управлении отпуском тепла по возмущению осуществлять дифференцированный учет быстрых и медленных тепловых потерь.

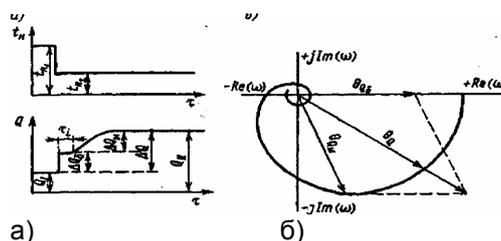


Рисунок 4 – Динамика тепловых потерь отапливаемых помещений:

а - характер переходного процесса; б - частотная характеристика; Q_1, Q_{II} - тепловые потери соответственно до и после изменения температуры наружного воздуха; $\Delta Q_B, \Delta Q_M$ - прирост быстрых и медленных, теплотерь; $\Theta Q_B, \Theta Q_M$ - радиусы-векторы быстрых и медленных теплотерь.

При этом по сравнению с распространенными методами регулирования достигается снижение диапазона отклонений температур воздуха в помещениях в 2,5-3,0 раза и обеспечивается экономия тепла в размере 4 - 5%.

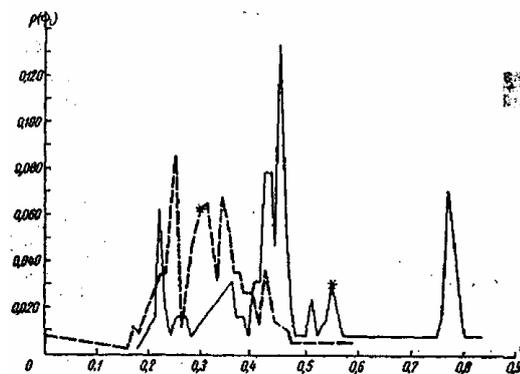


Рисунок 5 – Коэффициент ψ для помещений крупнопанельного здания

Условные обозначения: * - математическое ожидание значений коэффициента; ——— здание старого жилого фонда; — — — здание АлтГТУ

Поскольку в АлтГТУ 2 типа помещений, то и расчеты выполнены для помещений с двумя типами теплоемких наружных ограждений: кирпичными стенами в 2,5 кирпича и керамзитобетонными панелями толщиной 0,3 м.

В том случае, когда после возмущения, вызванного изменением метеорологических

условий, регулирование (компенсирующее воздействие) не осуществляется, температура воздуха изменяется по кривым разгона 1 и 2 отапливаемых помещений (рис. 6). Кривые 1' и 2' характеризуют изменение температуры в помещении при регулировании по текущему значению наружной температуры (метеорологических условий). Сопоставление температурного режима помещений со стенами в 2,5 кирпича и с керамзитобетонными стенами показывает, что во втором случае, благодаря меньшей массивности ограждений возвращение регулируемого параметра к заданному значению происходит значительно быстрее. Однако и в том и в другом случае переходный процесс длится десятки часов, а максимальное отклонение температуры достигает 25 - 42%.

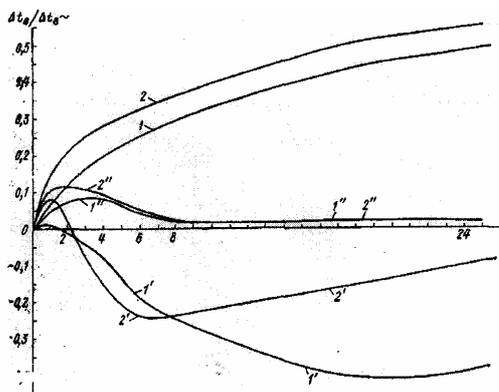


Рисунок 6 – Графики изменения температуры воздуха в отапливаемых помещениях при централизованном теплоснабжении:

1,2 – кривые разгона температуры воздуха в помещениях; 1', 2' – кривые изменения температуры в помещении при регулировании по текущему значению наружной температуры; 1'', 2'' – тоже, при регулировании с учетом быстрых и медленных тепловых потерь Цифра «1» относится к помещению со стенами в 2,5 кирпича, «2» – к помещению с керамзитобетонными стенами

Анализ динамики температурного режима при осуществлении регулирования по быстрым и медленным тепловым потерям (кривые 1'' и 2'') свидетельствует о принципиальном отличии характера переходного процесса от рассмотренного ранее. Из рисунка видно, что в этом случае, в отличие от предыдущего, во время

переходного процесса знак отклонения внутренней температуры не меняется. Длительность процесса оказалась значительно меньше и составила 8 ч. При этом она не зависит от теплоемкости ограждающих конструкций (поскольку компенсация влияния медленных тепловых потерь заложена в закон управления автоматизированным отпуском тепла) и определяется только динамическими характеристиками систем теплоснабжения по управляющему воздействию.

Для учета динамических характеристик системы по управляющему воздействию регулирование должно осуществляться с упреждением по прогнозируемым метеорологическим параметрам.

3. Погодозависимое автоматическое регулирование выработкой и распределением теплоносителя на базе мирового опыта

Следующим этапом следует отметить устройства управления в функции погодных условий с заданием суточных и недельных временных режимов работы.

Они подразделяются на аналоговые регуляторы с жестким управлением котлового контура и контура отопления, и цифровые микроконтроллеры с гибким регулированием котлового контура и отопительного контура с программируемым переключением суточных и недельных режимов работы, а также с автоматическим приготовлением горячей воды. На этом этапе возможности устройств управления расширяются. Следует отметить фирмы Viessmann, Capito, Froling, Buderus и т.д., выпускающие подобные регуляторы.

Аналоговые регуляторы котлового контура и контура отопления дешевле цифровых регуляторов, а также более устойчивы к скачкам сетевого напряжения, но в силу своей специфики имеют много недостатков по сравнению с цифровыми регуляторами. А именно, отсутствие IBM-совместимости, жесткая настройка на отопительную характеристику, отсутствие кодирования и интегральной диагностической системы. Аналоговые регуляторы в силу жесткой настройки можно эксплуатировать только в отопительных установках одного исполнения в отличие от цифровых микроконтроллеров имеющих универсальный принцип действия. Аналоговые регуляторы выпускает, например, фирма Capito.

Важной задачей на этапе внедрения является оптимальный выбор автоматического регулятора. Цифровые регуляторы, выпускаемые фирмой Viessmann от самых простых и более дешевых типа KR (Рис.7), до более сложных типа Dekamatik - НК4 (Рис.8), позволяют решать самый разнообразный круг задач, которые появляются на этапе проектирования автоматической отопительной установки [5,6]. Они подразделяются на регуляторы с одной отопительной характеристикой для котлового и отопительного контура и регуляторы с отопительными характеристиками индивидуальными для котлового контура и отопительного контура.

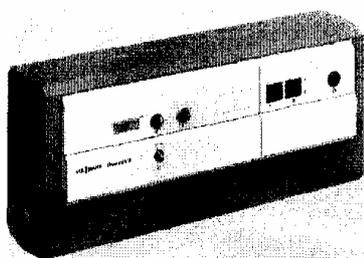


Рисунок 7 – Цифровой регулятор типа KR

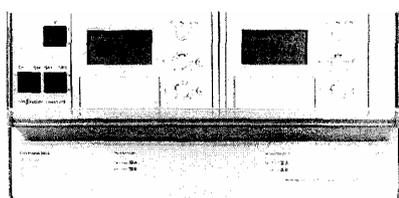


Рисунок 8 – Цифровой регулятор типа Dekamatik - НК4

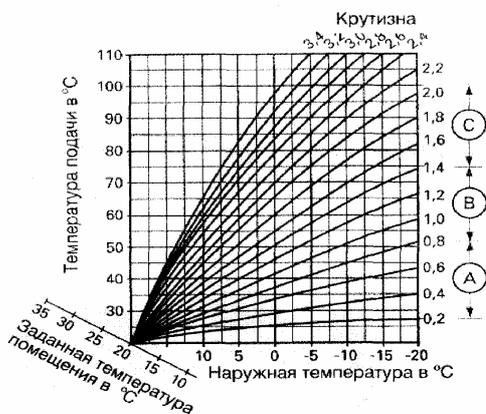


Рисунок 9 – Семейство отопительных характеристик низкотемпературного отопления

Самые простые погодозависимые цифровые микроконтроллеры с одной характеристикой для котлового контура и отопительного контура позволяют автоматизировать процесс выработки теплоносителя в функции погодных условий с суточным и недельным переключением режимов работы. При таком управлении экономится 30-40 % энергии теплоносителя на выработку по сравнению с термостатным управлением за счёт погодозависимого управления и задания суточного и недельного режимов работы. На рисунке 9 изображено семейство отопительных характеристик низкотемпературного отопления. Цифровой регулятор при вводе в эксплуатацию можно настроить на любую отопительную характеристику, в зависимости от теплотехнических свойств отапливаемого объекта. Отопительные характеристики отображают зависимость температуры котловой воды или температуры подачи от температуры наружного воздуха. Чем выше наружная температура, тем выше температура котловой воды или подачи. Наклон кривой отопления обычно находится:

- при внутривольном отоплении — в зоне А,
- в случае низкотемпературных отопительных установок (согласно положению об отопительных установках) - в зоне В,
- в отопительных установках с температурой котловой воды выше 75°C - в зоне С.

Пологие отопительные характеристики, область А (рис. 9) ассоциируют низкие, крутые область В или С, высокие температуры котловой воды или подачи (при одинаковой наружной температуре). От температуры котловой воды или подачи, в свою очередь зависит температура помещения. Итак, например, при температуре наружного воздуха -10°C и крутизне отопительной характеристики 1,4 температура котловой воды или подачи должна быть 65°C, естественно при заданной температуре помещения 20°C (рис. 9).

Рассмотрим примеры погодозависимых программных регуляторов.

Dekamatik - НК2 цифровой программный регулятор в функции погодных условий двумя отопительными контурами со смесителями по датчику наружного или внутреннего воздуха [5]. Контроль температуры теплоносителя производится погружным датчиком подачи. Регулирование температуры подачи

осуществляется смесителем, управляемым контроллером по отопительной характеристике (рис. 9). Настройка, кодирование, изменение суточного и недельного графика осуществляется очень просто благодаря диалоговому режиму и удобному расположению органов управления. Dekamatik - НК2 монтируется в диспетчерском помещении.

Dekamatik - НК4 устройство цифрового программного управления в функции погодных условий четырьмя отопительными контурами. Применение этого регулятора позволяет сократить число контроллеров до четырех, что в свою очередь приведет к меньшим денежным затратам, чем на Dekamatik - НК2. Установка контроллера осуществляется в диспетчерском пункте. Контроль температуры теплоносителя в отопительных контурах производится с помощью погружного датчика температуры. Регулирование температуры сетевой воды осуществляется по отопительной характеристике (рис. 9) с помощью смесителя с сервомотором. Dekamatik - НК4 состоит из двух блоков управления, настройка, кодирование, задание суточного и недельного графиков работы которых, осуществляется в диалоговом режиме. Недостатком этого контроллера является возможность задания суточного температурного графика одинаковым на два отопительных контура в пределах одного блока управления.

Для автоматического управления отопительными контурами корпусов АлтГТУ был выбран контроллер Dekamatik - НК4, так как это экономически и технически наиболее выгодно. Структурная схема комплектации системы автоматического управления распределением теплоносителя для 4-х тепловых пунктов АлтГТУ показана на рис. 10 (для остальных контуров сделано аналогично).

К контроллеру А подключены 4 отопительных контура 2 в корпусе МАПП, корпус строительный и Д. Единицы регулирования распределения в контуре состоят из циркуляционного насоса 2, смесителя с сервомотором 4, 3 и датчиков температуры подачи (ВК5 - ВК8). Наружная температура фиксируется датчиком ВК1. В качестве дополнительной комплектации можно установить датчики индивидуальные на каждый контур (ВК2 - ВК4). При автоматизации других контуров контроллеры соединяются в сеть (на рис. 10 показано

пунктирными линиями).

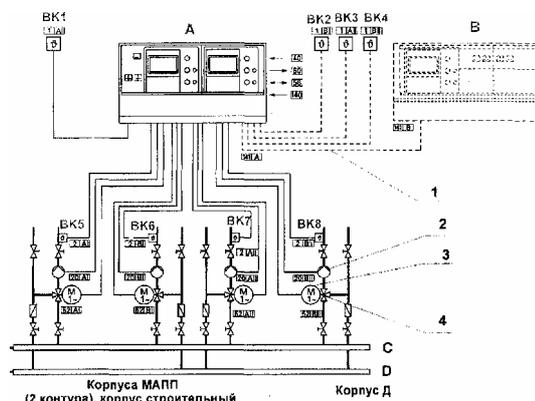


Рисунок 10 – Структурная схема автоматического управления четырьмя отопительными контурами АлтГТУ:

- А - контроллер Dekamatik-НК4;
- В - второй Dekamatik-НК4 или контроллер котлового контура;
- С - распределитель подачи;
- Д - сборник обратного потока;
- ВК1 - ВК4 - датчики температуры наружного воздуха;
- ВК5 - ВК8 - датчики температуры подачи;
- 1 - сетевое соединение;
- 2 - циркуляционный насос отопительного контура;
- 3 - двигатель смесителя;
- 4 - смеситель

Таким образом, в процессе решения задачи автоматического регулирования теплоснабжения АлтГТУ был изучен объект автоматического управления (система централизованного отопления в целом и на этапе абонентского ввода в АлтГТУ). Также рассмотрены возмущающие воздействия (внешние и внутренние), которые оказывают влияние на нормальную работу системы отопления АлтГТУ. В результате была поставлена и решена задача при существующей централизованной системе выработки тепла в АлтГТУ установить автоматическое регулирование распределением тепла по корпусам с принудительной циркуляцией теплоносителя.

Поскольку отечественная промышленность не производит подобного оборудования, выбор был произведен из зарубежного оборудования компании Viessmann (Германия).

Для отопительных контуров комплекса зданий АлтГТУ был произведен расчет и выбор циркуляционных насосов. Также

осуществлен выбор аппаратуры управления, позволяющей управлять температурой подачи в контурах из двух централизованных диспетчерских пунктов (Административно-хозяйственной части, бойлерной).

Внедрение системы автоматического управления распределением и выработкой тепла в тепловых контурах комплекса АлтГТУ позволило решить проблему существенной экономии тепловых ресурсов, а также

улучшения качества отопления. В жилых, рабочих и учебных помещениях создан благоприятный климат для работы сотрудников и обучения студентов даже при существующей системе централизованной выработки тепла. Окончательно вопрос качественного ресурсо-, энергосберегающего отопления АлтГТУ можно решить внедрением автономного источника тепла (котельной) на природном газе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Математическое моделирование нестационарного теплообмена в системах теплоснабжения // Автоматика, телемеханика и вычислительная техника в городском хозяйстве: Научные труды АКХ. – Вып. 101. – М., 1973. – 105 с.
2. Чистович С.А. Методы автоматического регулирования расхода тепла на отопление в абонентских вводах и тепловых пунктах // Автоматизация отопительных котельных. – Вып. 6. – Недра, 1965. – 210 с.
3. Чистович С.А. Влияние динамических характеристик систем теплоснабжения на тепловой режим зданий // Теплоснабжение городов: Научные труды АКХ. – Вып. 28. – М., 1965. – 135 с.
4. Руководство по монтажу. Dekamatik-НК4. №6. 1996.
5. Руководство по монтажу. Dekamatik-НК4. №5. 1996.
6. Руководство по монтажу. Dekamatik-НК4. №3. 1996.