

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМАМИ ОТОПЛЕНИЯ С ЭЛЕВАТОРНЫМ ПРИСОЕДИНЕНИЕМ

С.В. Панферов, В.И. Панферов

AUTOMATIC CONTROL FOR HEATING SYSTEMS WITH WATER JET PUMP ACCESSION

S.V. Panferov, V.I. Panferov

Рассматривается проблема автоматического управления элеваторными системами отопления зданий. Предлагается импульсный алгоритм управления, позволяющий исключить «перетопы» зданий, в том числе и в период «срезки» температурного графика централизованного теплоснабжения. Скважность управляющих импульсов вычисляется по результатам измерения либо температуры сетевой воды и ее расхода, либо теплоносителя на входе системы отопления и его расхода в ней.

Ключевые слова: система автоматического регулирования, элеваторная отопительная установка, скважность управляющих импульсов, температурный режим, расход теплоносителя.

The problem of automatic control of elevator heating systems in the buildings is considered. The pulse control algorithm which eliminates “overheating” of buildings, including the period of the “cut-off” temperature chart of central heating, is proposed. The duty cycle of the control pulses is calculated by measuring the temperature of network water and its flow rate or the heat-transfer fluid at the inlet of the heating system and its flow rate.

Keywords: automatic control system, water jet pump heating system, duty cycle of control pulses, temperature mode, water flow.

Анализ существа проблемы

В работе [1] рассматривается система управления тепловым режимом здания (ТРЗ) с элеваторной схемой присоединения к тепловым сетям, построенная с использованием принципа обратной связи: управление осуществляется по температуре в контрольных помещениях каждого фасада. Автоматический регулятор – двухпозиционный, в качестве исполнительного устройства используется соленоидный вентиль, изменяющий «неполным притоком» (используется небольшой постоянный базовый расход, подаваемый через байпасную по отношению к элеватору линию [2]) подачу теплоносителя из подающей магистрали тепловой сети на элеваторный узел смешения. Выбор двухпозиционного закона регулирования авторы работы объясняют тем, что «...пропорциональное... регулирование расхода теплоносителя в силу недопус-

тимой разрегулировки... систем отопления неприемлемо» [1]. Такая система автоматического регулирования (САР) вообще-то решает проблему управления отоплением здания, в том числе и в период «срезки» погодного графика. Однако инерционность локального контура с обратной связью достаточно велика, поэтому не следует рассчитывать на высокое качество поддержания температуры внутреннего воздуха здания.

Если рассматривать любой другой период, кроме периода «срезки», то качество управления можно повысить, применяя «хороший» погодный график. В этом случае контур, работающий по отклонению температуры внутреннего воздуха от задания, должен будет исправлять лишь небольшие величины этих отклонений, обусловленные как неидеальностью погодного графика, так и действием других неосновных возмущений теплового

Панферов Сергей Владимирович – канд. техн. наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, Южно-Уральский государственный университет; tgsiv@mail.ru

Панферов Владимир Иванович – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции, Южно-Уральский государственный университет; tgsiv@mail.ru

Panferov Sergey Vladimirovich – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor of Heat and Gas Supply and Ventilation Department of South Ural State University; tgsiv@mail.ru

Panferov Vladimir Ivanovich – Doctor of Science (Engineering), Professor, Head of Heat and Gas Supply and Ventilation Department of South Ural State University; tgsiv@mail.ru

режима здания. Вследствие этого, даже и при большой инерционности замкнутого контура качество регулирования может быть достаточно хорошим. В период «срезки» обработка основного возмущения ТРЗ – температуры наружного воздуха – возлагается только на замкнутый контур, канал компенсации этого возмущения, реализующий алгоритм погодного регулирования, в этом случае не работает, поэтому и качество регулирования в такой системе заметно снижается.

В работе [3] рассматривается задача управления системой отопления, имеющей два параллельно включенных элеватора, один из элеваторов считается базовым и работает в обычном нерегулируемом режиме, на выходе другого – регулируемого элеватора устанавливается электромагнитный вентиль, управляемый двухпозиционным регулятором. При этом двухпозиционный регулятор обрабатывает погодный график «температура наружного воздуха – температура воды в общем для группы зданий обратном трубопроводе тепловой сети». Система автоматизации работает следующим образом. При высоких температурах наружного воздуха, соответствующих участку «срезки», температура обратной воды будет завышена, вследствие этого двухпозиционный регулятор выключит регулируемый элеватор, система отопления будет работать только с базовым элеватором. Подача теплоты на отопление сокращается. При этом поступление прямой воды из камеры смешения выключенного регулируемого элеватора в обратную линию системы отопления блокируется обратным клапаном [3]. Кроме того, системой автоматизации предусматривается сокращение подачи теплоты на отопление и в часы большого водоразбора из системы горячего водоснабжения (ГВС) зданий. Для этого используется специальный программный блок. Обоснованность выбора импульса о температуре обратной воды для целей автоматического регулирования, как нам представляется, объясняется следующими соображениями.

С помощью несложных выкладок нетрудно показать, что температура обратной воды $t_{\text{ОБР}}$ является функцией вида:

$$t_{\text{ОБР}} = \frac{1 - (kF)_{\text{CO}} / (2cG_{\text{CO}})}{1 + (kF)_{\text{CO}} / (2cG_{\text{CO}})} t_{\text{CO}} + \frac{(kF)_{\text{CO}} / (cG_{\text{CO}})}{1 + (kF)_{\text{CO}} / (2cG_{\text{CO}})} t_{\text{В}}, \quad (1)$$

где t_{CO} – температура воды на входе системы отопления (после элеваторов); $t_{\text{В}}$ – температура внутреннего воздуха; c – удельная теплоемкость теплоносителя; G_{CO} – массовый расход теплоносителя через систему отопления; $(kF)_{\text{CO}}$ – произведение коэффициента теплопередачи на площадь поверхности теплообмена для всей системы отопления, это тот параметр, который подлежит определению при идентификации модели системы ото-

пления. Таким образом, при постоянных G_{CO} и t_{CO} температура обратной воды $t_{\text{ОБР}}$ однозначно характеризует температуру внутреннего воздуха $t_{\text{В}}$, следовательно, данную систему управления в определенной мере можно отнести к системам с обратной связью по $t_{\text{В}}$, что, в общем-то, является достаточно положительным качеством этой системы.

Кроме того, по $t_{\text{ОБР}}$ можно судить и о расходе теплоносителя на данный абонентский ввод, поддержание этого параметра на заданном уровне является важной задачей эксплуатирующих организаций. Дело в том, что при уменьшении гидравлического сопротивления какого-либо абонента расход воды на этот абонент увеличивается, вследствие этого $t_{\text{ОБР}}$ вырастет, при этом пьезометрический график сети, образно говоря, «сужается», потери напора на других абонентских вводах заметно снижаются, что приводит к резкому сокращению расхода воды на эти абоненты, т. е. к их «недотопу». Также из-за «подъема» пьезометрического графика обратной магистрали возможно разрушение отопительных приборов абонентов с зависимым присоединением к тепловой сети и низкими геодезическими отметками. Поэтому контроль $t_{\text{ОБР}}$ является важнейшей функцией системы автоматизации.

В работе [4] проблему «перетопа» в период «срезки» в открытых системах теплоснабжения предлагают решать путем уменьшения температуры точки излома с 70°C до 60°C , по данным автора этой работы теоретическая величина «перетопа» в этом случае снизится с 71 до 36,6%. Однако при этом будет происходить уменьшение теплофикационной нагрузки ТЭЦ и повышение доли конденсационной выработки электроэнергии, что является достаточно нежелательным обстоятельством.

Следует заметить, что проблема «перетопа» в период «срезки» реализуемого на источнике теплоты температурного графика порождается применением на неавтоматизированных абонентских вводах зданий нерегулируемых, как правило, элеваторных узлов смешения. Если же на индивидуальный тепловой пункт (ИТП) здания смонтировать регулируемый узел смешения, например, на базе насосов с частотно-регулируемым электроприводом, то такой проблемы просто не возникает. Однако при этом необходимо учитывать следующие обстоятельства.

Согласно данным автора работы [5], выпускаемые ведущими мировыми фирмами насосы «...характеризуются удивительно низким значением КПД», имеют «...недостаточно высокую надежность» и высокую стоимость. Вместе с тем, по оценкам автора той же работы [5], «...единственный недостаток элеватора, в целом очень простого, надежного и неприхотливого в эксплуатации» заключается в том, что он имеет

постоянный (нерегулируемый) коэффициент смешения. Однако, по мнению автора работы [5], этот недостаток можно устранить, если применить так называемое прерывистое отопление. При этом под термином «прерывистое отопление» в данном случае понимается поддержание заданного графика зависимости температуры обратной воды от температуры наружного воздуха с помощью двухпозиционного регулятора. Двухпозиционный регулятор включает электромагнитный клапан на подающем трубопроводе перед элеватором, причем параллельно клапану устанавливается байпасная линия, обеспечивающая некоторый расход прямой воды на элеватор при закрытом клапане, т. е. осуществляется двухпозиционное регулирование неполным притоком. Перед клапаном с байпасной линией устанавливается регулятор перепада давления между подающим и обратным трубопроводами абонентского ввода, устраняющий избыток перепада давления между подающей и обратной магистралями тепловой сети. Схема данной САР приведена на рис. 1.

По оценкам автора работы [5] технические средства для реализации данного подхода достаточно просты, надежны и имеют значительно меньшую стоимость, чем насосные системы и системы с клапанами пропорционального регулирования. Опыт применения таких систем регулирования по данным [5] показал их высокую экономическую эффективность. Вместе с тем, необходимо отметить, что указанная система автоматического регулирования процесса отопления решает задачу отработки погодного графика и поддержания должного значения температуры внутреннего воздуха достаточно приблизительно. Дело в том, что при полном отключении системы отопления от тепловой сети сигнал датчика температуры, установленного на обратном трубопроводе, вообще не несет никакой информации о ТРЗ. Попытка разработчиков данной системы устранить этот недостаток пропуском через байпасную по отношению к регулирующему клапану линию 20%-ного расхода воды через систему отопления в период отключе-

ния (хотя и неполного) мало что дает, так как согласно уравнению (1) $t_{\text{ОБР}}$ однозначно характеризует ТРЗ только при постоянном значении $G_{\text{СО}}$. При 100%-ном расходе эта зависимость одна, а при 20%-ном совершенно другая, да и погодный график указывается для расчетного расхода воды через систему отопления. Кроме того, как уже отмечалось выше, неизбежна и гидравлическая регулировка системы. Поэтому необходима разработка других способов решения проблемы.

Возможные схемы регулирования элеваторных систем отопления обсуждаются также и в работе [6], здесь указываются приемлемые способы решения проблемы отработки погодного графика отопления зданий, в том числе и в период «срезки». Причем весьма интересны предложения авторов, касающиеся того, как можно регулировать коэффициент смешения элеватора.

Как известно [7], коэффициент смешения элеватора зависит только от его геометрических размеров и сопротивления подключенной гидравлической цепи. Коэффициент смешения не зависит от перепада давления между сетевой водой перед соплом и обратной водой в приемной камере элеватора. Изменение указанного перепада давления вызывает изменение расхода сетевой воды, перепада давления, создаваемого элеватором, и пропорциональное изменение расхода воды в системе отопления, коэффициент смешения остается при этом постоянной величиной. Но это имеет место только при постоянном сопротивлении подключенной к элеватору гидравлической цепи. Если же это сопротивление изменять, то будет меняться и коэффициент смешения элеватора. В работе [6] предлагается изменять коэффициент смешения элеватора, меняя сопротивление клапана, установленного либо на элеваторной перемычке, либо за диффузором элеватора. Таким образом, погодный график регулирования отопления поддерживается должным образом во всем диапазоне изменения температур наружного воздуха. Недостатком такого способа регулирования является то, что в под-

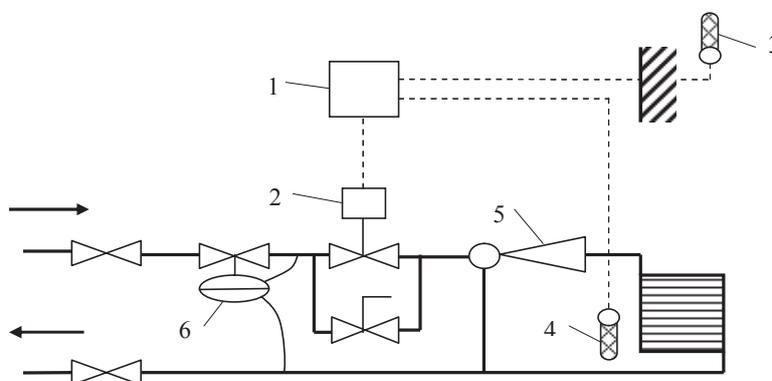


Рис. 1. Схема двухпозиционной САР: 1 – контроллер, 2 – двухходовой клапан с электроприводом и байпасной линией, 3 – датчик температуры наружного воздуха, 4 – датчик температуры обратной воды, 5 – элеватор, 6 – регулятор перепада давления

ключенную к элеватору гидравлическую цепь вводится дополнительное сопротивление, а это приводит к дополнительным энергетическим затратам по сравнению с прерывистым способом регулирования отопления. При этом, конечно, в точке подключения к тепловой сети должен быть достаточный избыточный перепад давления [6].

Тем не менее автор работы [8] считает неприемлемым применение элеваторов в энергоэффективных системах отопления. Вышеуказанные способы автоматического регулирования элеваторных систем почему-то оказались не принятыми во внимание. Пропагандируются широко используемые в Западной Европе автоматизированные насосные узлы смешения. Однако в нашей стране и в странах СНГ удельный вес находящихся в эксплуатации элеваторных узлов достаточно велик, поэтому актуальна разработка высококачественных систем управления отоплением именно с такими узлами смешения.

Предлагаемые решения

Как нам представляется, эффективное решение данной проблемы все-таки существует и заключается в применении прерывистого отопления, только реализуемого не с помощью двухпозиционного регулятора и погодного графика или обратной связи по t_B , а в режиме импульсного управления системой отопления.

В работе [9, с. 35] указывается, что при «...двухпозиционном (прерывистом) регулировании... регулирующим воздействием является... период включения (отключения) нагревательных приборов».

В том случае, когда фактическая мощность системы отопления W_{CO} при данных значениях параметров теплоносителя и температуры наружного воздуха является избыточной, в здании устанавливается некоторая температура t_B^{\max} , которая будет заметно превышать свое заданное значение t_B^3 . При этом подчеркнем, что такая ситуация может иметь место не только в период «срезки» температурного графика регулирования, но и в любой другой период, так как «...построение графика ориентировано на обезличенное здание... при расчетной температуре внутреннего воздуха 18 °С» [10, с. 458]. В таком случае с целью экономии расхода теплоты на отопление и обеспечения приемлемых внутренних климатических условий может применяться импульсный режим отопления зданий, при котором в течение некоторого периода длительностью T система отопления на время γT включается на полную мощность W_{CO} , а затем полностью отключается до конца периода. При этом возникает вопрос: как следует выбирать длительность периода T и скважность импульсов γ , чтобы температура внутри здания поддерживалась в заданных пределах?

Скважность γ можно определить следующим образом. Понятно, что в стационарном режиме мощность системы отопления W_{CO} должна равняться теплопотерям здания при температуре, установившейся внутри него, и при температуре, которая наблюдается снаружи. Если потери теплоты оценивать по формуле Н.С. Ермолаева, то для случая, когда система отопления мощностью W_{CO} работает в режиме постоянного включения, должно выполняться следующее соотношение:

$$W_{CO} = q_V (t_B^{\max} - t_H) V, \quad (2)$$

где q_V – удельная тепловая характеристика здания; V – его объем; t_H – температура наружного воздуха. В случае же, когда скважность импульсов подобрана должным образом, получим

$$\gamma W_{CO} = q_V (t_B^3 - t_H) V. \quad (3)$$

Здесь γW_{CO} – средняя за период T мощность системы отопления в импульсном режиме. Разделив уравнение (3) на уравнение (2), получим, что скважность импульсов следует определять так:

$$\gamma = (t_B^3 - t_H) / (t_B^{\max} - t_H). \quad (4)$$

Температуру t_B^{\max} можно вычислить по математической модели теплового режима здания, которая, очевидно, предварительно должна быть настроена на реальный процесс. В частности, это можно сделать и по уравнению (2), которое представляет собой математическую модель стационарного режима. Для этого только нужно иметь в виду, что мощность системы отопления можно вычислить по следующей формуле:

$$W_{CO} = \frac{(kF)_{CO} (t_{CO} - t_H)}{1 + (kF)_{CO} / (q_V V) + (kF)_{CO} / (2cG_{CO})}. \quad (5)$$

Подставляя данное выражение в (2), найдем из него формулу для вычисления t_B^{\max} :

$$t_B^{\max} = \frac{t_H + (kF)_{CO} (t_{CO} - t_H)}{(q_V V) + (kF)_{CO} + (kF)_{CO} / (2cG_{CO}) \cdot (q_V V)}, \quad (6)$$

а затем и требуемую скважность управляющих импульсов γ :

$$\gamma = \frac{t_B^3 - t_H}{t_{CO} - t_H} \times [1 + (q_V V) / (kF)_{CO} + (q_V V) / (2cG_{CO})]. \quad (7)$$

Как это видно из формулы (7) скважность управляющих импульсов γ является функцией температуры наружного воздуха t_H , заданного значения температуры внутреннего воздуха t_B^3 , температуры воды на входе системы отопления t_{CO} и расхода воды через систему отопления здания G_{CO} . Кроме того, γ также зависит от характеристики системы отопления – параметр $(kF)_{CO}$ и теплозащитных свойств и размеров здания – параметр $(q_V V)$.

На рис. 2 приведены кривые зависимости скважности управляющих импульсов γ от температуры наружного воздуха t_H для трех значений температуры на входе системы отопления t_{CO} : кривая 1 для $t_{CO} = 70^\circ\text{C}$, кривая 2 для $t_{CO} = 50^\circ\text{C}$ и кривая 3 для $t_{CO} = 30^\circ\text{C}$. При этом вычисления производились по формуле (7) при $q_V = 0,168 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$, $(kF)_{CO} = 1680 \text{ Вт}/^\circ\text{C}$, $t_B^3 = 18^\circ\text{C}$, $V = 1700 \text{ м}^3$, $G_{CO} = 1,57 \text{ кг/с}$.

Как видно из рис. 2, с увеличением температуры наружного воздуха t_H скважность управляющих импульсов γ уменьшается, что и ожидалось.

Анализ формулы (7), в том числе и прямые вычисления по ней, показали, что скважность управляющих импульсов γ растет в следующих случаях:

1) с увеличением параметра $(q_V V)$, т. е. с ухудшением теплозащитных свойств здания;

2) с уменьшением параметра $(kF)_{CO}$, т. е. с ухудшением теплотехнических характеристик системы отопления и вследствие этого ее мощности при прочих равных условиях;

3) с уменьшением расхода воды G_{CO} через систему отопления.

Для вычисления γ , как это видно из формулы (7), требуется измерять температуру наружного воздуха t_H , температуру t_{CO} и расход G_{CO} воды на входе системы отопления (после элеваторов или каких-либо других нерегулируемых узлов смешения). Схема такой системы управления приведена на рис. 3.

Возможно, что более предпочтительным будет измерение температуры t_C и расхода G_C сетевой воды в подающей магистрали, в этом случае

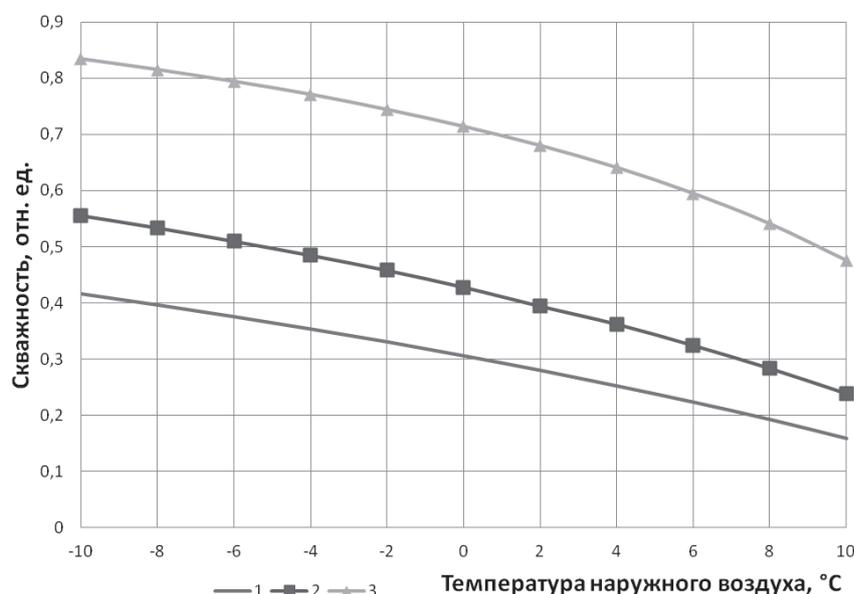


Рис. 2. Зависимость скважности управляющих импульсов γ от температуры наружного воздуха t_H

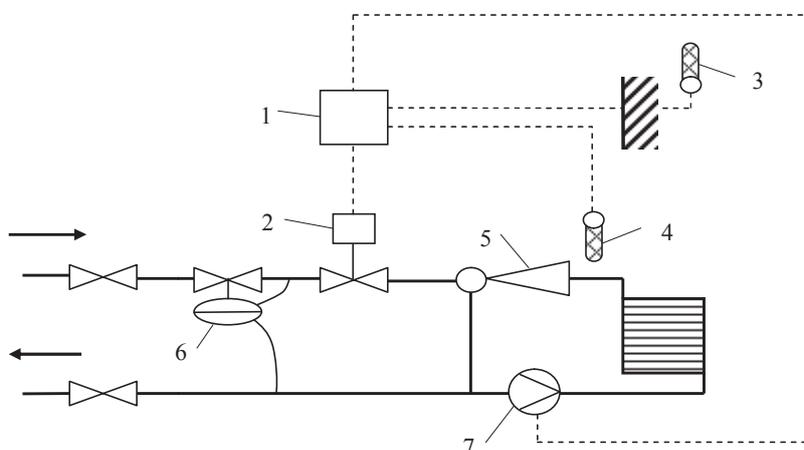


Рис. 3. Схема 1-го варианта импульсной системы управления: 1–6 – обозначения как на рис. 1; 7 – расходомер

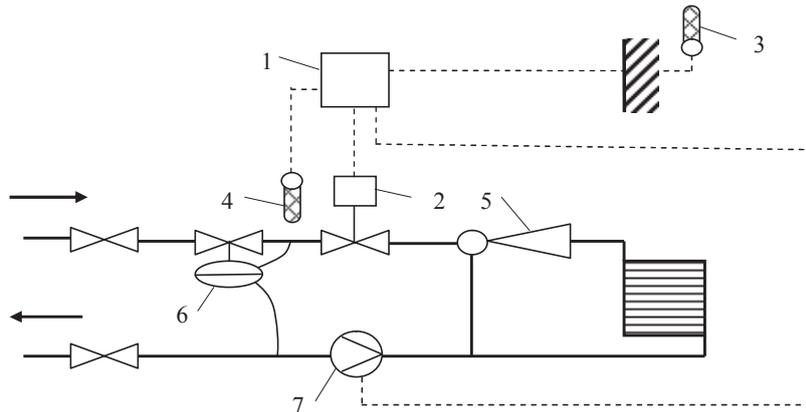


Рис. 4. Схема 2-го варианта импульсной системы управления: обозначения как на рис. 3

мощность системы отопления W_{CO} следует выразить через температуру t_C , как это сделано в [11]. Данная формула будет иметь вид

$$W_{CO} = cG_C \frac{t_C - t_H}{1 + \chi + \frac{cG_C}{(kF)_{CO}} + \frac{cG_C}{q_V V}}, \quad (8)$$

где χ – коэффициент смешения. Схема системы управления для этого случая приведена на рис. 4.

При реализации предлагаемого способа следует иметь в виду, что его эффективность во многом зависит от точности модели, отражающей влияние возмущения на выходную величину объекта управления, т. е. от характеристик канала «температура наружного воздуха – регулируемая температура». Хорошо известно, что эти характеристики заметно меняются, например, из-за старения здания и его системы отопления, при накоплении влаги в ограждающих конструкциях и т. п. Поэтому вполне понятно, что для построения высококачественной системы управления необходимо своевременно отслеживать изменение этих характеристик, т. е. решать задачу идентификации модели канала. Способы решения данной проблемы достаточно детально изложены в работе [12].

Длительность периода T , позволяющую достигать заданного качества процесса управления, следует определять по способу работы [13].

Заключение

Разработан способ импульсного управления температурным режимом зданий с элеваторным присоединением систем отопления. Приводятся два варианта структуры системы управления и процедуры вычисления скважности управляющих импульсов по данным измерения либо температуры сетевой воды и ее расхода, либо теплоносителя на входе системы отопления и его расхода в ней.

Литература

1. Грислис, В.Я. Автоматизация элеваторных узлов систем отопления / В.Я. Грислис, С.А. Чаки, И.А. Стуйт // *Водоснабжение и санитарная техника*. – 1981. – № 7. – С. 22–23.
2. Богуславский, М.С. Эксплуатация инженер-

ного оборудования общественных зданий / М.С. Богуславский. – М.: Стройиздат, 1990. – 239 с.

3. Драчнев, В.П. Автоматизированная система централизованного управления работой тепловых пунктов / В.П. Драчнев // *Водоснабжение и санитарная техника*. – 1982. – № 11. – С. 14–17.

4. Шелудько, Л.П. Анализ возможности сокращения «перетопа» тепловых потребителей при «изломе» температурного графика теплосети / Л.П. Шелудько // *Новости теплоснабжения*. – 2004. – № 05. – С. 41–44.

5. Гершкович, В.Ф. Так ли уж плох элеватор? / В.Ф. Гершкович, К.Д. Маргулис // *Новости теплоснабжения*. – 2002. – № 4 (19). – С. 37–39.

6. Байбаков, С.А. О возможностях регулирования элеваторных узлов систем отопления / С.А. Байбаков, К.В. Филатов // *Новости теплоснабжения*. – 2010. – № 7. – С. 38–44.

7. Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: учеб. для вузов / Е.Я. Соколов – 7-е изд., стер. – М.: Изд-во МЭИ, 2001. – 472 с.

8. Грановский, В.Л. Энергоэффективные системы отопления: тенденции, практика, проблемы / В.Л. Грановский // *АВОК*. – 2011. – № 8. – С. 40–44.

9. Зингер, Н.М. Повышение эффективности работы тепловых пунктов. / Н.М. Зингер, В.Г. Бестолченко, А.А. Жидков. – М.: Стройиздат, 1990. – 188 с.

10. Сканава, А.Н. Отопление: учеб. / А.Н. Сканава, Л.М. Махов. – М.: Изд-во АСВ. – 2002. – 576 с.

11. Панферов, В.И. К теории управления режимами централизованного теплоснабжения / В.И. Панферов, С.В. Панферов // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура»*. – 2011. – Вып. 12. – № 16 (233). – С. 41–45.

12. Панферов, С.В. Структурно-параметрический синтез адаптивной системы управления температурным режимом отопляемых зданий: автореф. дис. ... канд. техн. наук / С.В. Панферов. – Челябинск, 2011 – 20 с.

13. Васильев, Ю.С. Об определении скважности и периода при импульсном режиме отопления зданий / Ю.С. Васильев, В.И. Панферов // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура»*. – 2009. – Вып. 8. – № 16 (149). – С. 38–42.

Поступила в редакцию 26 ноября 2012 г.