

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ВЫВОДА УРАВНЕНИЙ РЕГУЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

В.И. Панферов, С.В. Панферов

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

Приводится детальная «расшифровка» процедуры вывода и обоснования алгоритмов, предложенных Е.Я. Соколовым для регулирования систем централизованного теплоснабжения как по отопительной (погодное регулирование), так и по совмещенной нагрузке отопления и горячего водоснабжения. Анализируются особенности данного подхода к решению задачи регулирования, его достоинства и недостатки. Показано, что полученные алгоритмы обладают большей общностью, чем у Е.Я. Соколова, так как позволяют вычислять требуемые значения температуры теплоносителя при любом значении показателя n отопительных приборов, установленных в здании. Отмечается, что централизованное регулирование является достаточно грубым, не учитывающим теплозащитные свойства конкретного здания и теплотехнические характеристики его системы отопления. В связи с этим более предпочтительным является индивидуальное для каждого здания погодное регулирование, реализуемое либо при независимой схеме подключения его системы отопления к тепловым сетям, либо при наличии на вводе регулируемого узла смешения. Приводятся алгоритм индивидуального погодного регулирования и структурная схема разработанной адаптивной системы управления тепловым режимом здания, реализующая комбинированный принцип управления с настройкой погодного компенсатора по эксплуатационным данным. Отмечается, что реализация именного погодного графика для зданий с элеваторной системой отопления также возможна, но только для этого необходимо применить импульсный способ управления.

Ключевые слова: система теплоснабжения, регулирование, отопительная нагрузка, совмещенная нагрузка отопления и горячего водоснабжения, алгоритм погодного регулирования, адаптивная система управления.

Введение

В настоящее время системы управления процессами теплоснабжения в большинстве случаев построены по принципу компенсации основного возмущения для температурного режима зданий – температуры наружного воздуха. Широко используемыми при этом являются алгоритмы, предложенные в свое время, как нам это представляется, Е.Я. Соколовым (см., например, [1]). Однако, к сожалению, обоснованность этих уравнений следует признать малопонятной (по тем данным, которые обычно приводятся в литературе) и, как сегодня говорят, не совсем прозрачной. Поэтому представляется интересной, например, в учебных целях задача «расшифровки» тех положений и соотношений, которые использовал Е.Я. Соколов в своих уравнениях количественно-качественного регулирования систем централизованного теплоснабжения. Кроме того, интересны и направления возможного усовершенствования алгоритмов, которые могут быть «обнаружены» в процессе такой работы. Данная проблема уже решалась и обсуждалась авторами в публикациях [2, 3]. Настоящую работу следует рассматривать как расширенное обоснование алгоритмов регулирования и развитие их анализа, проведенного в [2, 3], в частности, выясняется вопрос о том, насколько хорошо при этом учитываются теплозащитные свойства и характеристики конкретных зданий и их систем отопления.

Математическое описание функциональных элементов системы

1. Уравнения отопительных приборов и систем

При выводе нижеследующих уравнений и соотношений будем иметь в виду, что современные системы отопления зданий являются сложными техническими устройствами, включающими

в реальных условиях, как правило, разнотипные отопительные приборы с различными сроками эксплуатации и, возможно, с неодинаковыми схемами подключения к подводящим и обратным теплопроводам. Понятно, что непосредственный анализ и отслеживание режимов работы таких систем является весьма трудной задачей. Поэтому зачастую удобно эту сложную систему представить эквивалентным отопительным прибором, тем более что, как это показано в работах [4–5], его параметры достаточно успешно определяются по экспериментальным данным. В связи с этим не будем специально оговаривать, относятся ли рассматриваемые соотношения к отдельному отопительному прибору или ко всей системе отопления в целом.

Известно [6], что коэффициент теплопередачи отопительных приборов k с достаточной точностью может быть вычислен по следующей формуле

$$k = m\Delta t^n, \quad (1)$$

где Δt – среднее значение температурного напора отопительного прибора; m и n – некоторые эмпирические коэффициенты. Причем заметим, что Δt принято определять по соотношению

$$\Delta t = (t_{\text{ВХ}} + t_{\text{ВЫХ}}) / 2 - t_{\text{В}}, \quad (2)$$

где $t_{\text{ВХ}}$ и $t_{\text{ВЫХ}}$ – соответственно температура на входе и выходе отопительного прибора; $t_{\text{В}}$ – температура внутреннего воздуха. Поэтому тепловой поток (мощность) W отопительного прибора будет равен

$$W = m\Delta t^{n+1}F, \quad (3)$$

где F – площадь поверхности теплообмена отопительного прибора. Если обозначить параметры расчетного режима верхним индексом «Р», то для относительного коэффициента теплопередачи \bar{k} и относительной мощности \bar{W} можно записать следующие уравнения:

$$\bar{k} = k / k^{\text{Р}} = (\Delta t / \Delta t^{\text{Р}})^n; \quad (4)$$

$$\bar{W} = W / W^{\text{Р}} = (\Delta t / \Delta t^{\text{Р}})^{n+1}. \quad (5)$$

Поэтому

$$\bar{k} = \bar{W}^{n/(n+1)}. \quad (6)$$

Кроме того,

$$W = k\Delta tF = k[(t_{\text{ВХ}} + t_{\text{ВЫХ}}) / 2 - t_{\text{В}}]F = |t_{\text{ВЫХ}} - t_{\text{ВХ}} - W / (cG_{\text{ГР}})| = kF[t_{\text{ВХ}} - t_{\text{В}} - W / (2cG_{\text{ГР}})]. \quad (7)$$

Следовательно,

$$W = kF(t_{\text{ВХ}} - t_{\text{В}}) / [1 + kF / (2cG_{\text{ГР}})]. \quad (8)$$

Здесь c – удельная теплоемкость теплоносителя, $G_{\text{ГР}}$ – массовый расход теплоносителя через прибор (систему отопления).

2. Уравнения узла смешения

Обозначим температуру и массовый расход теплоносителя из подающей магистрали тепловой сети на узел смешения системы отопления через $t_{\text{С}}$ и $G_{\text{С}}$, температуру и расход обратной воды на узел смешения через $t_{\text{ОБР}}$ и $G_{\text{ОБР}}$, а температуру и расход воды после узла смешения, т. е. на входе системы отопления, как $t_{\text{СО}}$ и $G_{\text{СО}}$ (рис. 1).

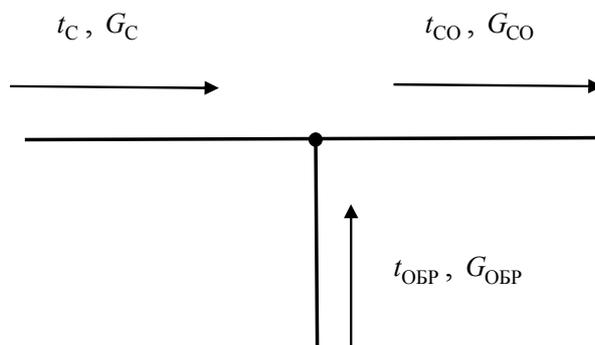


Рис. 1. Схема узла смешения

Тогда на основе 1-го закона Кирхгофа и закона сохранения энергии (теплового баланса) можно записать следующие соотношения:

$$G_{CO} = G_C + G_{OBR}; \quad (9)$$

$$cG_{CO}t_{CO} = cG_Ct_C + cG_{OBR}t_{OBR}. \quad (10)$$

Если $\chi = G_{OBR} / G_C$ – коэффициент смешения, то из уравнений (9) и (10) следует, что

$$G_{CO} = (1 + \chi)G_C; \quad (11)$$

$$(1 + \chi)t_{CO} = t_C + \chi t_{OBR}. \quad (12)$$

Вместе с тем, зная мощность всей системы отопления W_{CO} , можно определить температуру обратной воды

$$t_{OBR} = t_{CO} - W_{CO} / (cG_{CO}). \quad (13)$$

Поэтому

$$t_{CO} = t_C - \chi W_{CO} / (cG_{CO}). \quad (14)$$

3. Уравнения системы отопления при зависимом присоединении (модели системы отопления и узла смешения)

Как уже упоминалось, всю систему отопления здания представляем эквивалентным отопительным прибором, поэтому все соотношения, указанные в п. 1, справедливы и в данном случае, только теперь необходимо учесть, что $t_{BX} = t_{CO}$, $t_{ВЫХ} = t_{OBR}$ и $G_{IP} = G_{CO}$. Поэтому

$$W_{CO} = (kF)_{CO}(t_{CO} - t_B) / [1 + (kF)_{CO} / (2cG_{CO})]. \quad (15)$$

Здесь $(kF)_{CO}$ – это тот параметр, который подлежит определению при идентификации модели системы отопления [4]. Если учесть уравнения (11) и (14), то получим следующее выражение

$$W_{CO} = (kF)_{CO} \{t_C - \chi / [(1 + \chi)cG_C] W_{CO} - t_B\} / \{1 + (kF)_{CO} / [2c(1 + \chi)G_C]\}. \quad (16)$$

Отсюда следует, что

$$W_{CO} \{1 + (kF)_{CO} / [2c(1 + \chi)G_C]\} = (kF)_{CO} \{t_C - \chi / [(1 + \chi)cG_C] W_{CO} - t_B\} \quad (17)$$

или же

$$W_{CO} \left\{ 1 + \frac{(kF)_{CO}}{cG_C} \left[\frac{1}{2(1 + \chi)} + \frac{\chi}{1 + \chi} \right] \right\} = (kF)_{CO} (t_C - t_B). \quad (18)$$

Поэтому мощность системы отопления при данном коэффициенте смешения χ через температуру t_C и расход сетевой воды G_C будет определяться следующим уравнением

$$W_{CO} = cG_C \frac{t_C - t_B}{\frac{\chi + 0,5}{1 + \chi} + \frac{cG_C}{(kF)_{CO}}}. \quad (19)$$

Кроме того, очевидно

$$W_{CO} = cG_C (t_C - t_{OBR}). \quad (20)$$

Подчеркнем, что особенность моделей систем отопления (18)–(20) заключается в том, что их входными величинами являются температура t_C и расход сетевой воды G_C , т. е. строго говоря, уравнения (18)–(20) являются моделями систем отопления вместе с их узлами смешения. Поэтому данные соотношения могут быть использованы и в качестве моделей всех отопительных установок какого-либо микрорайона, так как у всех этих установок входные величины одни и те же – это температура t_C и расход сетевой воды G_C .

4. Модель теплового режима здания

В стационарном режиме потерю теплоты зданием можно оценить по известной формуле Н.С. Ермолаева

$$Q = q_V (t_B - t_H) V, \quad (21)$$

где Q – потеря теплоты зданием объемом V при температурах t_B и t_H соответственно внутреннего и наружного воздуха; q_V – удельная тепловая характеристика здания. Нетрудно видеть, что для относительных теплопотерь здания можно записать

$$\bar{Q} = Q / Q^P = (t_B - t_H) / (t_B^P - t_H^P). \quad (22)$$

Здесь также, как это указывалось выше, параметры расчетного режима с верхним индексом «P».

Алгоритмы управления теплоснабжением по отопительной нагрузке

Заметим, что алгоритм управления устанавливается для стационарного теплового режима, поэтому, приравнявая мощность системы отопления к тепловым потерям здания, получим

$$cG_C \frac{t_C - t_B}{\chi + 0,5 + \frac{cG_C}{(kF)_{CO}}} = q_V (t_B - t_H) V. \quad (23)$$

Уравнение (23) несложно разрешить либо относительно t_C , либо относительно G_C . В первом случае получаем алгоритм качественного регулирования, а во втором случае – алгоритм количественного регулирования.

Для приведения алгоритмов к тому виду, который использовал Е.Я. Соколов, заметим, что из уравнения (12) следует

$$\chi = \frac{t_C - t_{CO}}{t_{CO} - t_{OBR}} = \frac{t_C - t_{OBR}}{t_{CO} - t_{OBR}} - 1. \quad (24)$$

Считается, что при качественном регулировании [1] расход сетевой воды G_C и коэффициент смешения χ остаются постоянными величинами, поэтому можно воспользоваться наиболее удобным способом их вычисления – через параметры расчетного режима, т. е.

$$cG_C = W_{CO}^P / (t_C^P - t_{OBR}^P); \quad (25)$$

$$\chi = \frac{t_C^P - t_{OBR}^P}{t_{CO}^P - t_{OBR}^P} - 1. \quad (26)$$

Параметр $(kF)_{CO}$ при качественном регулировании является переменной величиной, для его определения воспользуемся соотношением (6), тогда получим

$$(kF)_{CO} = (k^P F)_{CO} (\bar{W}_{CO})^{n/(n+1)}, \quad (27)$$

причем

$$(k^P F)_{CO} = \frac{W_{CO}^P}{\Delta t_{CO}^P} = \frac{W_{CO}^P}{\frac{t_{CO}^P + t_{OBR}^P}{2} - t_B}. \quad (28)$$

Поэтому

$$\frac{cG_C}{(kF)_{CO}} = \frac{\Delta t_{CO}^P}{t_C^P - t_{OBR}^P} (\bar{W}_{CO})^{-n/(n+1)}. \quad (29)$$

Заметим, что, как это установлено в [4], большой практической необходимости в учете зависимости коэффициента теплопередачи k от температурного напора Δt нет, в работе [4], в частности, показано, что пересчет найденных по экспериментальным данным параметров $(mF)_{CO}$ и n модели (3) в параметр $(kF)_{CO}$ дает практически те же значения, что и для случая, когда сам параметр $(kF)_{CO}$ непосредственно оценивался по тем же экспериментальным данным. Поэтому при выводе алгоритма управления вполне можно считать, что $(kF)_{CO} = (k^P F)_{CO}$. Это позволит упростить конечные соотношения.

Стремление некоторых авторов повысить точность расчетов за счет более глубокого учета механизма явлений часто оказывается малоэффективным, так как эта величина определяется в основном точностью исходных данных, которая, к сожалению, часто весьма низкая. Широко известно, что весьма проблемным коэффициентом в теплотехнике является коэффициент теплоотдачи, трудности точного определения которого привели, в том числе, к идее построения так называемой новой теории теплопередачи, в которой этот коэффициент просто не используется [7]. В частности, из-за этого погрешность теплотехнических расчетов может достигать 30 и более

процентов. Поэтому, на наш взгляд, разумно из всего набора вариантов модели теплообмена выбирать самую простую по структуре, но достаточно апробированную практикой модель.

Далее, уравнение (23) перепишем следующим образом

$$\frac{W_{CO}^P}{t_C^P - t_{OБP}^P} \cdot \frac{t_C - t_B}{1 + \chi + \frac{cG_C}{(kF)_{CO}}} = Q. \quad (30)$$

Если считать, что расчетная мощность системы отопления W_{CO}^P в точности равна расчетным теплотерям здания Q^P , то соотношение (30) запишется в виде

$$\frac{1}{t_C^P - t_{OБP}^P} \cdot \frac{t_C - t_B}{1 + \chi + \frac{cG_C}{(kF)_{CO}}} = \bar{Q}. \quad (31)$$

Если дополнительно полагать, что $\bar{W}_{CO} = \bar{Q}$, то из (31), учитывая (26) и (29), получим, что

$$t_C = t_B + \Delta t_{CO}^P \bar{Q}^{1/(n+1)} + [(t_C^P - t_{OБP}^P) - 0,5(t_{CO}^P - t_{OБP}^P)] \cdot \bar{Q}. \quad (32)$$

С точностью до обозначений при $n = 0,25$ уравнение (32) совпадает с уравнением (4.38), приведенным в [1, с. 132].

При этом следует заметить, что из данного соотношения исключены характеристика системы отопления конкретного здания – это параметр $(kF)_{CO}$ и настройка ее узла смешения – это параметр χ . Кроме того, в (32) в явном виде нет и удельной тепловой характеристики здания q_V . Также, если учесть, что в учебной литературе, в частности, в [1] и параметр n заменен числом $0,25$, то вполне может создаваться впечатление, что алгоритм (32) пригоден для любых отапливаемых зданий, какие бы системы отопления у них не были бы и как бы при этом не настраивался их узел смешения.

Если же проанализировать исходное уравнение (23), то из него видно, что управляющее воздействие – это при качественном регулировании температура сетевой воды t_C – зависит как от теплозащитных свойств конкретного здания – это величина q_V , так и от характеристики его системы отопления – это параметр $(kF)_{CO}$, так и от настройки его узла смешения – это параметр χ . Параметр n имеет различное значение для разных отопительных приборов.

В связи с этим погодное регулирование на централизованном источнике теплоты по алгоритму (32) (\bar{Q} зависит от температуры наружного воздуха t_H , см. формулу (22)) для каждого конкретного здания будет достаточно грубым, не обеспечивающим с удовлетворительной точностью заданную температуру внутреннего воздуха. Так называемый погодный график должен быть индивидуальным для каждого конкретного здания с его вполне конкретной системой отопления, что неоднократно отмечалось в работах [8–13]. Данный график можно построить, если приравнять мощность системы отопления, определяемую по температуре и расходу воды на ее входе t_{CO} и G_{CO} (формула (15)), к теплотерям здания (формула (21)):

$$t_{CO} = t_B^3 \{1 + q_V V [0,5 / (cG_{CO}) + 1 / (kF)_{CO}]\} - q_V V [0,5 / (cG_{CO}) + 1 / (kF)_{CO}] t_H. \quad (33)$$

Здесь t_B^3 – заданная температура внутреннего воздуха.

В этом случае при качественном регулировании управляющим воздействием будет уже не температура сетевой воды t_C , а t_{CO} . Понятно, что для реализации такого именно для данного здания графика погодного регулирования необходимо иметь либо управляемый узел смешения, либо независимую схему подключения его системы отопления к тепловым сетям [13]. Реализация именно погодного графика для зданий с элеваторной системой отопления также возможна, но только для этого необходимо применить импульсный способ управления [11, 12].

На рис. 2 представлена структурная схема разработанной адаптивной системы управления тепловым режимом зданий, реализующая комбинированный принцип управления с настройкой погодного компенсатора по эксплуатационным данным. Здесь использованы следующие обозначения: ТРЗ – тепловой режим здания, СО – система отопления, БИ – блок идентификации (в этом

Управление в технических системах

блоке определяются реальные числовые значения настраиваемых параметров погодного компенсатора q_V и $(kF)_{CO}$ [8–10, 13]), БК – блок компенсации (в этом блоке по текущей температуре наружного воздуха t_H и заданному значению температуры внутреннего воздуха t_B^3 формируется сигнал компенсации в соответствии с формулой (33) – вычисляется заданное значение температуры воды на входе системы отопления t_{CO}^3). Данное значение обрабатывается регулятором t_{CO} , кроме того, задание этому регулятору корректируется также и регулятором температуры внутреннего воздуха, получающим сигнал обратной связи о фактическом значении t_B . За счет обратной связи будут обрабатываться такие возмущения теплового режима как тепlopоступления от людей, от работающего оборудования, за счет солнечной радиации, увеличение потерь теплоты из-за ветра, а также все погрешности реализации канала компенсации основного возмущения – температуры наружного воздуха, в том числе и погрешности, связанные с неучетом динамики элементов системы теплоснабжения и ТРЗ в вышеприведенных соотношениях.

На схеме рис. 2 предусматривается регулируемый узел смешения. Регулятор t_{CO} управляет этим узлом так, чтобы фактическая температура воды на входе системы отопления равнялась заданному значению, вычисляемому БК.

Нетрудно видеть, что все вышеизложенное пригодно и для независимой схемы присоединения систем отопления к тепловым сетям. В этом случае регулятор t_{CO} поддерживает на заданном БК уровне температуру воды на входе системы отопления, изменяя расход сетевой воды через первичный контур теплообменника узла присоединения.

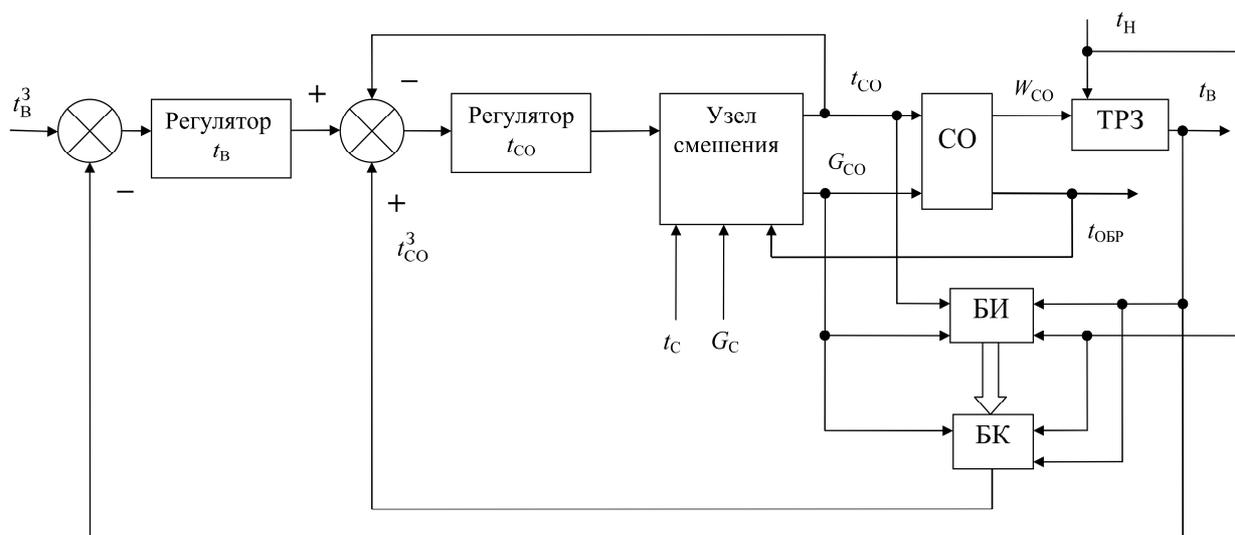


Рис. 2. Структура адаптивной системы управления

Обычно же в учебном процессе формула (32) используется без вывода и вышеизложенных добавлений, поэтому ошибочное представление об ее универсализме довольно часто имеет место.

В любой точке температурного графика температура обратной воды t_{OBR} будет меньше t_C на величину, равную доле от расчетной разности $(t_C^P - t_{OBR}^P)$, причем значение этой доли равно \bar{Q} , поэтому

$$t_{OBR} = t_C - (t_C^P - t_{OBR}^P)\bar{Q} = t_B + \Delta t_{CO}^P \bar{Q}^{1/(n+1)} - 0,5(t_{CO}^P - t_{OBR}^P)\bar{Q}. \quad (34)$$

С точностью до обозначений при $n = 0,25$ данная формула совпадает с формулой (4.39), приведенной в [1, с. 132].

По аналогии нетрудно видеть, что температура воды на входе системы отопления t_{CO} будет больше t_{OBR} на величину $(t_{CO}^P - t_{OBR}^P)\bar{Q}$, поэтому

$$t_{CO} = t_{OBR} + (t_{CO}^P - t_{OBR}^P)\bar{Q} = t_B + \Delta t_{CO}^P \bar{Q}^{1/(n+1)} + 0,5(t_{CO}^P - t_{OBR}^P)\bar{Q}. \quad (35)$$

С точностью до обозначений при $n = 0,25$ данная формула совпадает с формулой (4.40б), приведенной в [1, с. 132].

Алгоритмы управления по совмещенной нагрузке отопления и горячего водоснабжения

Рассмотрим двухступенчатую последовательную схему системы горячего водоснабжения (ГВС). Известно, что одним из основных условий применения метода центрального регулирования по совмещенной нагрузке является наличие такой системы ГВС более чем у 75 % абонентов [14].

Обозначим температуру обратной воды, достигаемую при качественном регулировании отопительной нагрузки в точке излома («срезки») температурного графика через $t_{\text{ОБР}}^{\text{CP}}$. Пусть γ – относительная нагрузка ГВС: $\gamma = Q_{\text{ГВС}}^{\text{CP}} \cdot \beta / Q^{\text{P}}$, где $Q_{\text{ГВС}}^{\text{CP}}$ – средненедельная нагрузка ГВС, β – поправочный коэффициент на неравномерность суточного графика ГВС [1]. Кроме того, будем считать, что в первой ступени подогревателя ГВС водопроводная вода нагревается от температуры t_{X} до температуры $t_{\text{ОБР}}^{\text{CP}} - \Delta$, где недогрев $\Delta = 5 \div 10$ °С [1]. В этом случае величина снижения температуры воды в обратной магистрали в точке излома из-за подогревателя первой ступени $\delta_{\text{ОБР}}^{\text{CP}}$ будет определяться из следующих соображений.

$cG_{\text{C}}\delta_{\text{ОБР}}^{\text{CP}}$ – потеря теплоты первичным теплоносителем (обратной водой) в теплообменнике первой ступени в единицу времени, $cG_{\text{ГВС}}(t_{\text{ОБР}}^{\text{CP}} - \Delta - t_{\text{X}})$ – теплота, получаемая водопроводной водой (вторичным теплоносителем) в теплообменнике первой ступени в единицу времени, $cG_{\text{ГВС}}(t_{\text{Г}} - t_{\text{X}})$ – теплота, получаемая водопроводной водой в единицу времени во всей системе ГВС (в первой и второй ступенях), очевидно, что

$$cG_{\text{C}}\delta_{\text{ОБР}}^{\text{CP}} = \gamma Q^{\text{P}} \frac{cG_{\text{ГВС}}(t_{\text{ОБР}}^{\text{CP}} - \Delta - t_{\text{X}})}{cG_{\text{ГВС}}(t_{\text{Г}} - t_{\text{X}})}, \quad (36)$$

поэтому

$$\delta_{\text{ОБР}}^{\text{CP}} = \gamma (t_{\text{C}}^{\text{P}} - t_{\text{ОБР}}^{\text{P}}) \frac{t_{\text{ОБР}}^{\text{CP}} - \Delta - t_{\text{X}}}{t_{\text{Г}} - t_{\text{X}}}. \quad (37)$$

Пусть $\delta_{\text{ПР}}^{\text{CP}}$ – необходимое для ГВС повышение температуры теплоносителя в подающей магистрали в точке излома графика, тогда, нетрудно видеть, что

$$cG_{\text{C}}\delta_{\text{ПР}}^{\text{CP}} = \gamma Q^{\text{P}} \left[1 - \frac{cG_{\text{ГВС}}(t_{\text{ОБР}}^{\text{CP}} - \Delta - t_{\text{X}})}{cG_{\text{ГВС}}(t_{\text{Г}} - t_{\text{X}})} \right], \quad (38)$$

поэтому

$$\delta_{\text{ПР}}^{\text{CP}} = \gamma (t_{\text{C}}^{\text{P}} - t_{\text{ОБР}}^{\text{P}}) \frac{t_{\text{Г}} - t_{\text{ОБР}}^{\text{CP}} + \Delta}{t_{\text{Г}} - t_{\text{X}}}. \quad (39)$$

Как вычислять $\delta_{\text{ПР}}$ и $\delta_{\text{ОБР}}$ для других точек температурного графика?

Из теории теплопередачи известно, что мощность теплообменника первой ступени может быть определена следующим образом: $W = cG_{\text{C}}(t_{\text{ОБР}} - t_{\text{X}})Z$, где Z – некоторая функция, зависящая от площади поверхности теплообмена, коэффициента теплопередачи и величины cG_{C} . С другой стороны мощность теплообменника W в любой точке температурного графика должна равняться тому расходу теплоты, который забирается от первичного теплоносителя, в данном случае от обратной воды, подогревателем первой ступени, поэтому

$$cG_{\text{C}}(t_{\text{ОБР}} - t_{\text{X}})Z = cG_{\text{C}}\delta_{\text{ОБР}}. \quad (40)$$

Если это соотношение записать для точки излома, то получим, что $Z = \delta_{\text{ОБР}}^{\text{CP}} / (t_{\text{ОБР}}^{\text{CP}} - t_{\text{X}})$. Поэтому снижение температуры обратной воды в теплообменнике первой ступени ГВС для любой точки температурного графика будет определяться следующим соотношением:

$$\delta_{\text{ОБР}} = (t_{\text{ОБР}} - t_{\text{X}}) \frac{\delta_{\text{ОБР}}^{\text{CP}}}{t_{\text{ОБР}}^{\text{CP}} - t_{\text{X}}}. \quad (41)$$

Заметим, что формула (40) с точностью до обозначений совпадает с формулой (4.66), приведенной, однако, практически без разъяснений в [1, с. 150].

В любой точке температурного графика теплота, отобранная из подающей и обратной магистралей тепловой сети, в сумме должна быть равна величине γQ^P , поэтому

$$cG_C\delta_{OBR} + cG_C\delta_{IP} = cG_C\delta_{OBR}^{CP} + cG_C\delta_{IP}^{CP} = \gamma Q^P \quad (42)$$

или

$$\delta_{OBR} + \delta_{IP} = \delta_{OBR}^{CP} + \delta_{IP}^{CP} = \gamma(t_C^P - t_{OBR}^P) = \text{const.} \quad (43)$$

Поэтому температура прямой воды в любой точке температурного графика должна быть повышена на следующую величину:

$$\delta_{IP} = \gamma(t_C^P - t_{OBR}^P) - (t_{OBR} - t_X) \frac{\delta_{OBR}^{CP}}{t_{OBR}^{CP} - t_X}. \quad (44)$$

Выводы

Предложено обоснование алгоритмов регулирования процесса теплоснабжения как по отопительной нагрузке, так и по совмещенной нагрузке отопления и горячего водоснабжения. Показано, что централизованное регулирование является достаточно грубым, не учитывающим теплозащитные свойства конкретного здания и теплотехнические характеристики его системы отопления, а также их динамические свойства. Указано, что предпочтительным является индивидуальное для каждого здания погодное регулирование, реализуемое либо при независимой схеме подключения его системы отопления к тепловым сетям, либо при наличии на вводе регулируемого узла смешения. Приводятся алгоритм индивидуального погодного регулирования и структурная схема разработанной адаптивной системы комбинированного управления тепловым режимом здания с настройкой погодного компенсатора по эксплуатационным данным. Отмечается, что реализация погодного графика, именного для конкретного здания с элеваторной системой отопления, также возможна, но только для этого необходимо применить импульсный способ управления.

Литература

1. Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: учеб. для вузов / Е.Я. Соколов. – 7-е изд., стер. – М.: Изд-во МЭИ, 2001. – 472 с.
2. Панферов, В.И. Анализ алгоритмов регулирования систем теплоснабжения по Е.Я. Соколову / В.И. Панферов, С.В. Панферов // Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции: материалы Третьей Междунар. науч.-техн. конф. – М.: МГСУ, 2009. – С. 276–280.
3. 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.
4. Панферов, С.В. Адаптивная идентификация параметров систем отопления зданий / С.В. Панферов, В.И. Панферов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2014. – Т. 14, № 2. – С. 33–37.
5. Панферов, В.И. Об одном решении задачи построения динамической математической модели отопительных приборов и систем / В.И. Панферов, А.Н. Нагорная, Ю.В. Кунгурцева // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2012. – Вып. 15, № 38 (297). – С. 46–49.
6. Сканава, А.Н. Отопление: учеб. / А.Н. Сканава, Л.М. Махов. – М.: Изд-во АСВ. – 2002. – 576 с.
7. Адиутори, Е.Ф. Новые методы в теплопередаче / Е.Ф. Адиутори. – М.: Мир. 1977. – 230 с.
8. Панферов, В.И. Оптимизация настройки в системах управления микроклиматом зданий / В.И. Панферов, С.В. Панферов // Статистика. Моделирование. Оптимизация: сб. тр. Всерос. конф. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2011. – С. 227–232.
9. Панферов, В.И. Адаптивное погодное регулирование в системах отопления зданий / В.И. Панферов, С.В. Панферов // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве: тр. VIII Всерос. науч.-практ. конф. – Новокузнецк: СибГИУ, 2011. – С. 51–54.
10. Панферов, В.И. Адаптация погодного графика регулирования отопления / В.И. Панферов, С.В. Панферов // Вестник МГСУ. – 2011. – № 7. – С. 257–261.

11. Панферов, С.В. Погодный компенсатор для систем отопления с элеваторным присоединением / С.В. Панферов, В.И. Панферов // Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции: сб. докл. V Междунар. науч.-техн. конф. – М.: Изд-во МГСУ, 2013. – С. 140–144.

12. Панферов, С.В. Импульсный погодный компенсатор для элеваторных систем отопления / С.В. Панферов, В.И. Панферов // С.О.К. (Сантехника. Отопление. Кондиционирование): ежемес. специализир. журн. – 2013. – № 12. – С. 45–47. – www.c-o-k.ru, www.forum.c-o-k.ru.

13. Панферов, С.В. Адаптивное управление отоплением зданий / С.В. Панферов, В.И. Панферов // С.О.К. (Сантехника. Отопление. Кондиционирование): ежемес. специализир. журн. – 2014. – № 5. – С. 66–69. – www.c-o-k.ru, www.forum.c-o-k.ru.

14. Шаронов, В.И. Регулирование нагрузки систем теплоснабжения / В.И. Шаронов, П.В. Ротов. – М.: Изд-во «Новости теплоснабжения». – 2007. – 164 с.

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

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

Поступила в редакцию 18 ноября 2015 г.

DOI: 10.14529/ctcr160102

ABOUT FEATURES OF DERIVATION OF THE REGULATION EQUATIONS FOR DISTRICT HEATING SYSTEMS

V.I. Panferov, tgsiv@mail.ru,

S.V. Panferov, tgsiv@mail.ru

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

A detailed “transcript” entry procedures and validation of algorithms proposed by E.Y Sokolov to regulate district heating both the heating load (weather control) and on the combined load of heating and hot water is given. The features of this approach to the problem of regulation, its advantages and disadvantages are analysed. It is shown that the algorithms are more common than ones of the E.Y. Sokolov, as they allow to calculate the required value of the coolant temperature at any value index heaters installed in the building. It is noted that centralized regulation is quite rude, not taking into account the specific thermal insulation properties of the building and its thermal performance of the heating system. In this regard individual weather regulation for each building is more preferable, it is realized or at the independent scheme of connection of its system of heating to thermal networks, or in the presence on input of adjustable knot of mixture. The algorithm of the individual weather control and a block diagram of the developed adaptive thermal management system of the building, realizing a combined management principle to the setting of the weather compensator for operational data are given. It is noted that the implementation of a nominal weather graphics for buildings with elevator heating system is also available, but only for that you need to apply a method of controlling a pulse.

Keywords: heating system, regulation, heating load, combined load of heating and hot water, weather regulationalgorithm, the adaptive control system.

References

1. Sokolov, E.Ya. *Teplofikatsiya i teplovye seti: uchebnik dlya vuzov* [District Heating and Heat Networks: Manual for High Schools]. Moscow MEI Publ., 2001. 472 p.

2. Panferov V.I., Panferov S.V. [Analysis of Control Algorithms of the Heating Systems According

to the Works of Sokolov E.Ya.]. *Teoreticheskie osnovy teplogazosnabzheniya i ventilyatsii: materialy Tre'tey Mezhdunarodnoy nauch.-tehn. konf.* [Theoretical Foundations of Heat and Ventilation: Proc. of the Third International Scientific and Engineering Conference]. Moscow MGRS, 2009, pp. 276–280. (in Russ.)

3. Panferov V.I., Panferov S.V. [To the Theory of Control Regimes of District Heating]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Building and Architecture*, 2011, vol. 12, no 16 (233), pp. 41–45. (in Russ.)

4. Panferov V.I., Panferov S.V. [Adaptive Parameter Identification of Buildings Heating Systems]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Building and Architecture*, 2014, vol. 14, no 2, pp. 33–37. (in Russ.)

5. Panferov V.I., Nagornaya A.N., Kungurtseva Yu.V. [About One Solution of the Problem of Creation of a Dynamic Mathematical Model of Heating Appliances and Systems]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Building and Architecture*, 2012, vol. 15, no 38 (297), pp. 41–45. (in Russ.)

6. Skanavi A.N., Mahov. L.M. *Otoplenie: uchebnik* [Heating: Textbook]. Moscow, DIA Publ., 2002. 576 p.

7. Adiutori, E.F. *Novye metody v teploperedache* [New Methods in Heat Transfer]. Moscow World Publ., 1977. 230 p.

8. Panferov V.I., Panferov S.V. [Optimization Settings for Climate Control of Buildings]. *Statistika. Modelirovanie. Optimizatsiya: sbornik trudov Vserossiyskoy konf.* [Statistics. Simulation. Optimization: Proc. of the All-Russian Conference], Chelyabinsk, South Ural St. Univ. Publ., 2011, pp. 227–232. (in Russ.)

9. Panferov V.I., Panferov S.V. [Adaptive Control of Heating Systems Based on Outdoor Temperature]. *Sistemy avtomatizatsii v obrazovanii, nauke i proizvodstve: trudy VIII Vserossiyskoy nauch.-prakt. konf.* [Automation Systems in Education, Science and Industry: Proc. of VIII All-Russian Scientific-Practical Conference]. Novokuznetsk, SibGIU, 2011, pp. 51–54. (in Russ.)

10. Panferov V.I., Panferov S.V. [Adaptation Weather Chart for Heating]. *Bulletin of Moscow State Construction University*, 2011, no. 7. pp. 257–261. (in Russ.)

11. Panferov V.I., Panferov S.V. [Compensator According to the Outdoor Temperature for Heating Systems with the Addition of Elevator]. *Teoreticheskie osnovy teplogazosnabzheniya i ventilyatsii: sb. dokl. V Mezhdunarodnoy nauch.-tehn. konf.* [Theoretical Foundations of Heat and Ventilation: Collection of V International Scientific and Technical. Conf.]. Moscow, MSCU Publ., 2013, pp. 140–144. (in Russ.)

12. Panferov V.I., Panferov S.V. [Pulse Weather Compensator for Heating Systems with a Water Jet Pump]. *SOK (Plumbing. Heating. Air Conditioning): a Monthly Trade Magazine*, 2013, no 12, pp. 45–47. (in Russ.)

13. Panferov V.I., Panferov S.V. [Adaptive Control of Heating Buildings]. *SOK (Plumbing. Heating. Air Conditioning): a Monthly Trade Magazine*, 2014, no 5. pp. 66–69. (in Russ.)

14. Sharapov V.I., Rotov P.V. *Regulirovanie nagruzki sistem teplosnabzheniya* [Load Control of Heating Systems]. Moscow, News of Heat Supply Publ., 2007. 164 p.

Received 18 November 2015

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Панферов, В.И. Об особенностях вывода уравнений регулирования систем централизованного теплоснабжения / В.И. Панферов, С.В. Панферов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2016. – Т. 16, № 1. – С. 21–30. DOI: 10.14529/ctcr160102

FOR CITATION

Panferov V.I., Panferov S.V. About Features of Derivation of the Regulation Equations for District Heating Systems. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2015, vol. 16, no. 1, pp. 21–30. (in Russ.) DOI: 10.14529/ctcr160102