

СНАБЖЕНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИЕЙ С УЧЕТОМ АККУМУЛИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЗДАНИЙ

Т.Г. Мануковская, В.А. Стерлигов

ФГБОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет», г. Липецк

Рецензент д-р техн. наук, профессор В.Д. Коршиков

Ключевые слова и фразы: аккумулирующая способность зданий; водяные системы теплоснабжения; отпуск теплоты; расчетные параметры теплоносителя; регулирование отпуска теплоты; снабжение тепловой энергией.

Аннотация: В эксплуатации водяных систем теплоснабжения наиболее распространенный способ отпуска теплоты центральным качественным регулированием не обеспечивает в течение всего отопительного сезона потребителей требуемым количеством тепловой энергии. Предложено снабжать потребителей тепловой энергией, учитывая аккумулирующую способность зданий.

Обозначения: c – теплоемкость материала стен, воды, кДж/(кг·°C); F – площадь ограждений здания, м²; G_i – расход теплоносителя, кг/ч; s – толщина ограждения, м; $Q'_{ак}$, Q_o , \bar{Q}_i – аккумулируемый, расчетный и относительный расходы теплоты на отопление соответственно, Вт; q_o – удельные тепловой поток на отопление, Вт/(м³·°C); $t'_{вmax}$, $t'_{вmin}$ – максимальная и минимальная из допустимых значений температур внутреннего воздуха соответственно, °C; t_n , t_b – температура наружного и внутреннего воздуха соответственно, °C; $t_{н.о}$ – расчетная температура наружного воздуха на отопление, °C; $t_{п}$ – температура помещения, °C; V – строительный объем здания, м³; ρ – плотность материала ограждений, кг/м³; τ_1 , τ_2 – текущие температуры горячей и охлажденной воды соответственно, °C.

Мануковская Татьяна Григорьевна – старший преподаватель кафедры промышленной теплоэнергетики, e-mail: kafpte@gambler.ru; Стерлигов Вячеслав Анатольевич – кандидат технических наук, доцент кафедры промышленной теплоэнергетики, ФГБОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет», г. Липецк.

В существующих условиях эксплуатации водяных систем теплоснабжения с центральным качественным регулированием происходит массовый переход на пониженный температурный график (или осуществляется его срезка). В результате понижается температурный напор теплоносителя, сокращается период центрального качественного регулирования, и как следствие, в системы отопления зданий, спроектированные на более высокие температуры теплоносителя, недопоставляется тепловая энергия. Так, при продолжительности отопительного сезона около 6 месяцев в году центральное качественное регулирование осуществляется 2–4 месяца, а в оставшееся время регулирование отсутствует [1].

Часто даже правильно спроектированные и отрегулированные водяные системы отопления, подключенные к тепловым сетям, не обеспечивают требуемых температур в отапливаемых помещениях в течение всего отопительного сезона. Так, например, только за счет изменения естественного давления в двухтрубных системах и отсутствия текущего регулирования в помещениях колебания температуры внутреннего воздуха составляют до 8 °С [2].

Недоподачу теплоты производители компенсируют повышенным расходом теплоносителя, при этом перерасход воды в сетях достигает до 40–50 % от проектного, происходит отклонение от проектного гидравлического режима, возрастают удельные затраты на перекачку теплоносителя и ухудшается теплоснабжение.

Регулирование отпуска теплоты формирует тепловой режим в отапливаемых помещениях зданий, который является переменным. Существенным является использование теплоаккумулирующей способности зданий, так как позволяет проводить регулирование отпуска теплоты на отопление не по текущей температуре наружного воздуха, а по средней величине наружной температуры за некоторый период [3].

Для обеспечения потребителей требуемым количеством теплоты предлагается снабжать тепловой энергией здания с учетом их аккумулялирующей способности [4]. Схема снабжения теплотой приведена на рис. 1.

На источнике теплоты установлены теплоприготовительная установка (ТПУ) 1, вырабатывающая тепловую энергию для теплоснабжаемых районов (ТР) 2, коллектор горячей воды (КГВ) 3, коллектор охлажденной воды (КОВ) 4, где смешивают возвращающийся теплоноситель, сетевой насос (СН) 5. Арматура 6 и 7 предназначена для периодического переключения потоков теплоты в трубопроводы горячей воды 8. Охлажденную воду по трубопроводам 9 направляют в КОВ, а сетевой насос по трубопроводу 10 подает часть охлажденного и смешанного в КОВ теплоносителя по трубопроводу 11 в трубопроводы горячей воды 8, часть по трубопроводу 12 в ТПУ и далее по 13 в КГВ и в трубопровод горячей воды для одного из ТР.

Каждому из теплоснабжаемых районов периодически подается теплоноситель с повышенным температурным потенциалом из ТПУ 1. В один из ТР 2 (например, ТР1) в течение первого расчетного периода по трубопроводу 8 подают тепловой поток от ТПУ, расход и температура теплоносителя поддерживаются постоянными. По остальным трубопроводам горячей воды для двух других теплоснабжаемых районов направляют сетевую воду из КОВ по обводному трубопроводу 11.

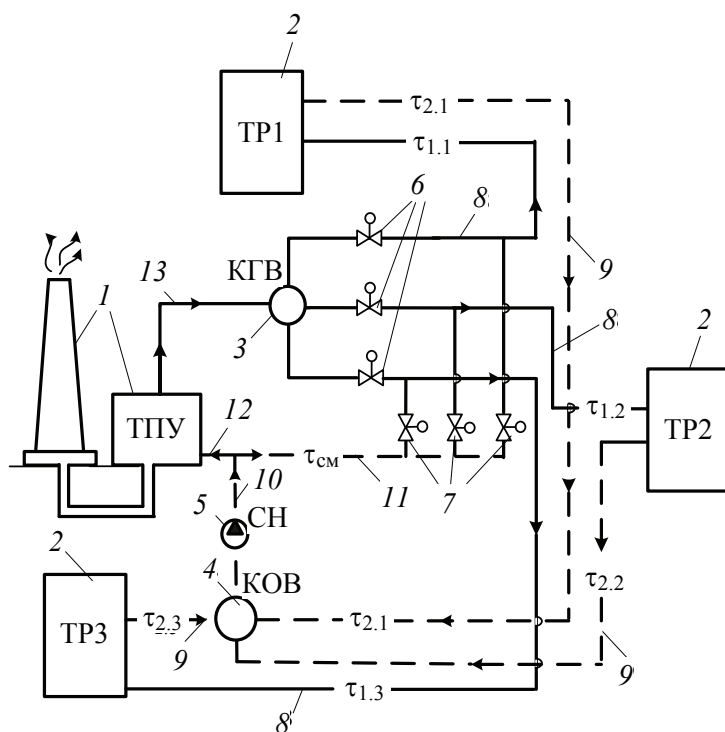


Рис. 1. Схема снабжения теплотой

В первом районе наступает период натопа, во втором и третьем – период остывания. По истечении первого расчетного периода происходит переключение запорной арматуры 6 и 7. В следующий расчетный период, во второй район поступает теплоноситель от теплоприготовительной установки, который разогревает отапливаемые помещения, а в первый и третий районы в течение второго расчетного периода поступает теплоноситель из коллектора 4. Так как в этот период в третий район продолжает поступать теплоноситель с температурой смеси, в конце второго расчетного периода температура внутреннего воздуха помещений в ТР понизится, при этом понизится до минимума температура обратной воды. Это служит сигналом для переключения запорной арматуры 6 и 7 и подачи горячего теплоносителя от ТПУ в третий район. Наступает третий расчетный период (период натопа в третьем районе), по завершении которого горячий теплоноситель вновь подают в первый теплоснабжаемый район. В результате происходит периодическое повышение и понижение температур теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах каждой из магистралей, что приводит к изменению от максимального до минимального значений температуры внутреннего воздуха.

Изменение внутренней температуры воздуха в большой степени зависит от массивности зданий. Ограждающие конструкции зданий имеют способность аккумулировать тепловую энергию в толще ограждения, а затем частично отдавать наружу и внутрь помещения [3].

Для управления процессом регулирования подачи теплоты с учетом аккумулирующей способности здания в зависимости от температуры на-

ружного воздуха необходимо определить: температуру внутреннего воздуха, которая установится в помещении после изменения теплового режима; промежутки времени, в течение которого она понизится до минимально допустимых значений; температуру теплоносителя после смешивания в коллекторе.

Аналитическое решение задачи использования аккумулирующей способности здания для регулирования отпуска теплоты на отопление приведено в работе [3].

Количество тепловой энергии, аккумулируемой зданием, определяется как

$$Q'_{ак} = Fspc(t'_{сп} - t_{н}). \quad (1)$$

Регулирование отпуска теплоты осуществляется на основе теплового баланса здания, за бесконечно малый промежуток времени dz :

$$q_0V(t_{в} - t_{н})dz = Q_0dz + Fspcdt_{сп}. \quad (2)$$

Откуда

$$dz = \frac{Fspc}{2q_0V} \frac{dt_{в}}{t_{в} - t_{н} - \frac{Q_0}{q_0V}}, \quad (3)$$

где $\frac{Fspc}{2q_0V} = \beta$ – коэффициент тепловой аккумуляции здания, ч.

Температурные условия в отапливаемых помещениях определяются температурой воздуха $t_{в}$ и температурой внутренних поверхностей τ_i . В строительной теплофизике суммарную поверхность ограждений заменяют одной условной поверхностью, имеющей определенную радиационную температуру t_R , которая рассчитывается как средневзвешенная по площадям. Интенсивность теплообмена характеризуется температурой помещения $t_{п}$ [5]. С учетом вышеизложенного, проинтегрировав уравнение (3), получаем зависимость изменения внутренней температуры воздуха отапливаемых помещений за конечный промежуток времени в виде

$$t_{в} = t_{н} + \frac{Q_0}{q_0V} + \frac{t_{п} - t_{н} - \frac{Q_0}{q_0V}}{e^{z/\beta}}, \quad (4)$$

при этом продолжительность изменения температуры

$$z = \beta \ln \frac{t_{п} - t_{н} - \frac{Q_0}{q_0V}}{t_{в} - t_{н} - \frac{Q_0}{q_0V}}. \quad (5)$$

На основе теплового баланса получены уравнения для определения количества теплоты, поступающей в район в разные расчетные периоды:

– в период, когда подают горячий теплоноситель с расчетной температурой воды (натоп):

$$Q_{o(\text{нат})} = q_o V (t_B - t_H) \left(\frac{t_{B \max} - t_{H.o}}{t_{B \min} - t_{H.o}} \right); \quad (6)$$

– в период, когда подают теплоноситель, имеющий температуру смеси, образованной в КОВ (остывание):

$$Q_{o(\text{ост})} = (t_{B \min} - t_{H.o}) \frac{Q_{oi}}{\frac{\tau'_1 - \tau'_2}{2} - t_{B \min}}. \quad (7)$$

При отпуске теплоты потребителям, периодически в трубопроводе горячей воды одного из районов устанавливается постоянная максимальная температура теплоносителя. В остальных подающих трубопроводах и КОВ температура устанавливается в зависимости от t_H , то есть $\tau_{cm} = f(t_H)$. Расходы воды в трубопроводах остаются постоянными как в режимах, когда через них поступает теплоноситель с максимальной температурой, так и в режимах, когда подается теплоноситель с температурой смеси. Таким образом, можно отметить, что количество теплоты, подаваемое в разные периоды в теплоснабжаемые районы определяется максимальной температурой τ'_1 , температурой теплоносителя, образованного в КОВ τ_{cm} , и временем, в течение которого подается тепловая энергия z , то есть $Q = f(\tau'_1, \tau_{cm}, z)$. Ограничением времени подачи теплоты в районы являются максимально и минимально допустимые температуры воздуха в отапливаемых помещениях $t_{B \max}$ и $t_{B \min}$, а также минимальная температура воды, поступающая в смесительный коллектор по обратным трубопроводам τ_2^{\min} .

При изменении мощности теплового потока, подаваемого системой теплоснабжения в здание в зависимости от t_H , будет меняться температура воздуха в отапливаемых помещениях здания t_B . С учетом аккумулирующей способности здания будет изменяться и время z , в течение которого температура воздуха внутри отапливаемого помещения достигнет своих экстремальных значений.

Допустив, что при изменении температуры теплоносителя, поступающего в отопительные приборы систем отопления зданий от τ'_1 до τ_2^{\min} , коэффициент теплопередачи прибора меняется незначительно, уравнение теплового баланса для регулирования отпуска тепла имеет вид

$$\bar{Q}_i = \frac{\tau_1 - \tau_2^{\min}}{\tau'_1 - \tau'_2} = \frac{t_B - t_H}{t_B - t_{H.o}} = \frac{\frac{\tau_1 + \tau_2^{\min}}{2} - t'_{\min}}{\frac{\tau'_1 + \tau'_2}{2} - t'_{B \max}}. \quad (8)$$

Учитывая предельные значения температур воздуха в отапливаемых помещениях $t_{B \max}$ и $t_{B \min}$ и минимально допустимую температуру охла-

жденной воды в трубопроводах магистралей τ_2^{\min} , температура воды, уходящей из теплоснабжаемых районов τ_{2i} , определяется как

$$\tau_{2i} = \tau_2^{\min} \bar{Q}_i + t_{\text{в}}(1 - \bar{Q}_i). \quad (9)$$

После смешивания в коллекторе охлажденной воды температура теплоносителя определяется по формуле

$$\tau_{\text{см}i} = \frac{\sum_{i=1}^n G_i \tau'_{2i}}{\sum_{i=1}^n G_i}. \quad (10)$$

Расчеты температуры внутреннего воздуха, температуры теплоносителя и количеств теплоты при снабжении тепловой энергией с учетом аккумулирующей способности здания проведены на примере труболитейного цеха (ТЛЦ) Липецкого металлургического завода «Свободный Сокол». При расчетных параметрах воды 115–70 °С, $t_{\text{н.о}} = -27$ °С, отпуске теплоты центральным качественным регулированием, поддерживающим постоянство температуры внутреннего воздуха в помещении, цех имеет расчетную тепловую нагрузку $Q'_0 = 16,32$ МВт. Из-за специфики планировки и размещения технологического оборудования территорию ТЛЦ условно поделили на три теплоснабжаемые зоны с соответствующими тепловыми нагрузками: $Q'_{10} = 6,512$ МВт, $Q'_{20} = 5,216$ МВт, $Q'_{30} = 4,596$ МВт.

В процессе натопа в одной из зон и в период остывания в других зонах цеха, при коэффициенте аккумуляции здания ТЛЦ $\beta = 10$ ч, для каждой из зон потребуется разное время подачи теплоты. Наиболее неблагоприятной зоной оказалась третья, так как в нее подается наименьшее количество теплоты, поэтому продолжительность подачи расчетного количества тепловой энергии в зависимости от $t_{\text{н}}$ рассчитана по формуле (5) и построена на основе потребности в теплоте для третьей зоны. Результаты расчета температур воздуха выполнены по формуле (4) и приведены на рис. 2, а время подачи теплоносителя на рис. 3.

Изменения температуры воды в трубопроводах в периоды натопа, остывания и температуры смеси определялись по формулам (9) и (10). Графики изменения температур теплоносителя приведены на рис. 4. В расчетных условиях ($t_{\text{н.о}} = -27$ °С) время подачи теплоносителя от ТПУ составило $z = 1,8$ ч. Для этого периода рассчитаны тепловые потоки, подаваемые в зоны в течение натопа и остывания.

Так, в течение первого расчетного периода подачи теплоты от ТПУ (натоп) в первую зону цеха, подаваемое количество теплоты, рассчитанное по (6), составило $Q_{\text{нат}} = 6,77$ МВт или 104 % от расчетного теплоснабжения. Для двух других зон в этот период теплоноситель поступает из КОВ с температурой смеси, количество теплоты в которых составило для второй зоны $Q_{2\text{ост}} = 4,83$ МВт или 93 % и для третьей – $Q_{3\text{ост}} = 4,25$ МВт или 93 %. По истечении первого расчетного периода происходит пере-

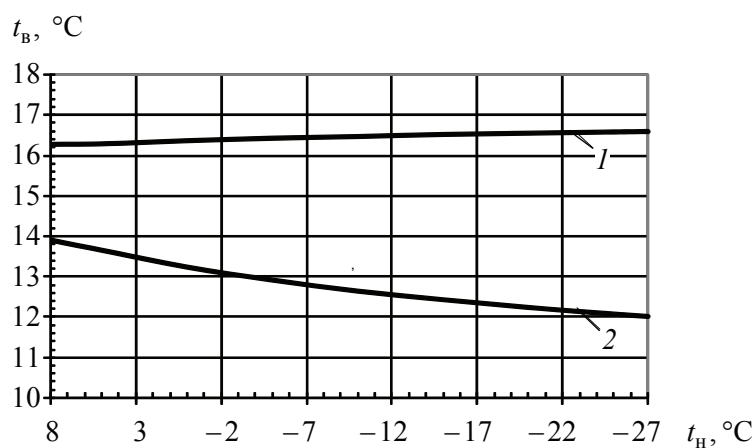


Рис. 2. Графики температур воздуха в цехе:
1 – период нагрева; 2 – остывание

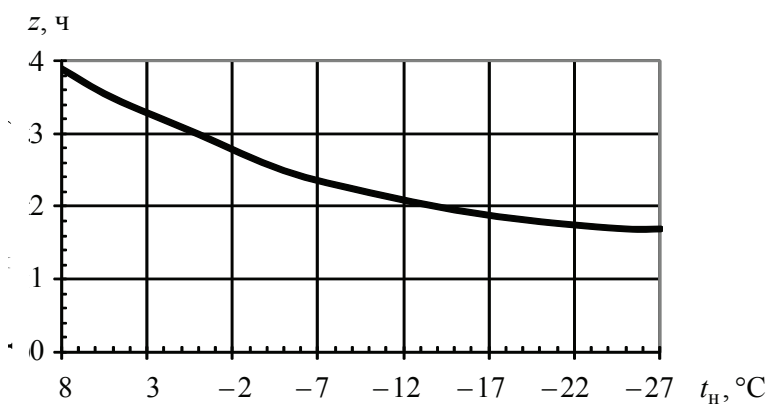


Рис. 3. График времени подачи теплоносителя от ТПУ

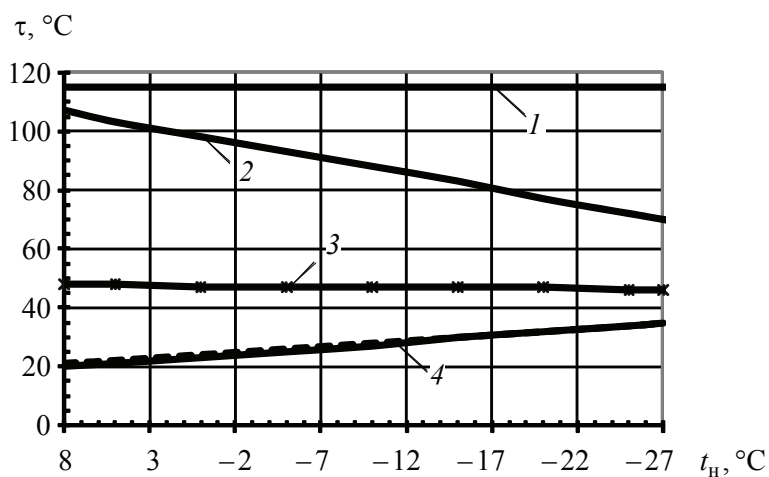


Рис. 4. Графики температур сетевой воды:
1 – горячей воды на входе в зону; 2 – охлажденной воды на выходе из зоны;
3 – смеси на входе в зоны; 4 – смешанной воды
в трубопроводах на выходе из зон

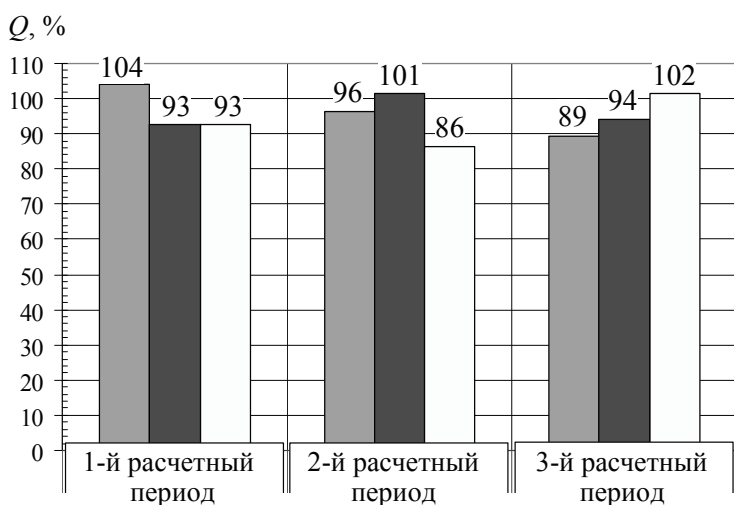


Рис. 5. Поступление тепловой энергии в зоны труболитейного цеха:
 ■ – 1-я зона; ■ – 2-я зона; □ – 3-я зона

ключение тепловых потоков и наступает второй, а затем и третий расчетные периоды, для которых аналогичным образом определены тепловые потоки (рис. 5).

Из рисунка 5 следует, что по завершении трех расчетных периодов подачи теплоты с учетом аккумулирующей способности здания, среднее часовое теплотребление за цикл составило 95 % от расчетной подачи теплоты или $Q_0^{\text{ак}} = 15,54$ МВт.

Сравнивая численные значения часовых расходов тепловой энергии при подаче теплоты в цех методом центрального качественного регулирования с методом подачи ее с учетом аккумулирующей способности здания, видно, что в третьей зоне тепловой энергии требуется меньше на 4,9 %. Проведенные расчеты для всего отопительного сезона показали, что снижение теплотребления в сравнении с традиционным качественным отпуском теплоты составляет 12,9 %.

Список литературы

1. Мануковская, Т.Г. Отпуск теплоты в централизованных системах водяного теплоснабжения / Т.Г. Мануковская, В.А. Стерлигов, Е.М. Крамченков // 3-я Междунар. науч.-техн. конф. «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции» : сб. докл. / Моск. гос. стоит. ун-т. – М., 2009. – С. 292–295.
2. Дроздов, В.Ф. Отопление и вентиляция. В 2 ч. Ч. 1. Отопление / В.Ф. Дроздов. – М. : Высшая школа, 1976. – 280 с.
3. Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети / Е.Я. Соколов. – М. : Изд-во Моск. энергет. ин-та, 2002. – 472 с.
4. Пат. 2334173 Российская Федерация, МПК F 24 D 3/02. Способ снабжения тепловой энергией потребителей в централизованных системах / Стерлигов В.А., Мануковская Т.Г., Логинов В.В., Ермаков О.Н., Крамчен-

ков Е.М. ; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Липетск. гос. техн. ун-т». – № 2006146325/03 ; заявл. 25.12.2006 ; опубл. 20.09.2008, Бюл. № 26. – 7 с.

5. Богословский, В.Н. Строительная теплофизика / В.Н. Богословский. – М. : Высшая школа, 1970. – 376 с.

Supply of Thermal Energy to Consumers in the View of Storage Capacity of Buildings

T.G. Manukovskaya, V.A. Sterligov

Lipetsk State Technical University, Lipetsk

Key words and phrases: control of heat release; design parameters of the coolant; heat release; storage capacity of buildings; the supply of thermal energy; water heating systems.

Abstract: The use of water supply systems as the most common way to release the heat from the central quality control does not provide the consumers with the required amount of heat energy for the entire heating season. It is proposed to supply heat energy to consumers given the storage capacity of buildings.

© Т.Г. Мануковская, В.А. Стерлигов, 2011