

ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ИССЛЕДОВАНИЯ, РАСЧЕТЫ

УДК 697.1:699.86

Надежная и безопасная схема регулирования теплоснабжения жилых зданий

Самарин О. Д.

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
Ярославское ш., 26, 129337, Москва, Россия

Поступила / Received 05.12.2016

Принята к печати / Accepted for publication 28.12.2016

Рассмотрена простейшая схема теплоснабжения жилых зданий с зависимым присоединением к наружным теплосетям, обеспечивающая надежность теплоподдачи и необходимую комфортность в помещениях за счет подмешивания части воды из обратной магистрали теплосети при наружной температуре, превышающей точку излома температурного графика. Проанализированы основные уравнения, описывающие зависимость температуры воды в магистралях от температуры наружного воздуха и осуществлен обзор возможных способов регулирования теплоподдачи и предотвращения «перетопов» вблизи начала и конца отопительного периода с учетом требований действующих нормативных документов Российской Федерации. Проведены расчеты, позволяющие определить требуемый коэффициент подмешивания в условиях применения схемы присоединения зданий к теплосети с использованием смесительного насоса на основе линеаризации уравнения температурного графика в теплосети в малой окрестности точки излома данного графика. Дан анализ полученных результатов и сделаны выводы относительно целесообразности применения рассматриваемой схемы. Установлено, что величина текущей безразмерной разности температур внутреннего и наружного воздуха в точке излома не зависит от климатических параметров района строительства, а требуемый коэффициент подмешивания практически прямо пропорционален превышению наружной температуры по сравнению с температурой в точке излома температурного графика. Показано, что значение коэффициента подмешивания тем больше, чем выше расчетная температура воды в обратной магистрали тепловой сети в точке излома. Предложены рекомендации по совместному использованию элеватора и смесительного насоса с целью минимизации изменений при реконструкции теплового ввода для устранения «перетопов».

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: теплоподдача, теплопотери, температура, точка излома, линеаризация, коэффициент подмешивания, надежность теплоснабжения, безопасность жизнедеятельности.

Reliable and safe arrangement for regulation of heat supply of residential buildings

Samarin O. D.

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University)
Yaroslavskeye Highway, 26, 129337, Moscow, Russia

An elementary arrangement is considered for heat supply of residential buildings with dependent connection to external heating systems, providing reliable heat delivery and required comfort indoors due to admixing of water from the heating system return line at an outdoor temperature exceeding the breakpoint temperature. Basic equations are analyzed describing

Адрес для переписки:

Самарин О. Д.
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
Ярославское ш., 26, 129337, Москва, Россия
e-mail: samarin-oleg@mail.ru

Address for correspondence:

Samarin O. D.
Moscow State University of Civil Engineering (National Research University),
Yaroslavskeye Highway, 26, 129337, Moscow, Russia
e-mail: samarin-oleg@mail.ru

Для цитирования:

Самарин О. Д. Надежная и безопасная схема регулирования теплоснабжения жилых зданий. Надежность и безопасность энергетики. 2017. – Т. 10, №2. – с. 150 – 153.
DOI: 10.24223/1999-5555-2017-10-2-150-153

For citation:

Samarin O. D. [Reliable and safe arrangement for regulation of heat supply of residential buildings]. Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki [Safety and Reliability of Power Industry]. 2017, vol. 10, no. 2, pp. 150 – 153 (in Russian).
DOI: 10.24223/1999-5555-2017-10-2-150-153

dependence of the temperature of water in the trunk lines on the outside air temperature, and an overview is presented of possible ways to regulate heat delivery and prevent oversupply of heat near the beginning and the end of the heating season with consideration of requirements of the current Russian Federation regulations. Calculations are performed, which enable to determine the desired admixing ratio in conditions of application of an arrangement with buildings connected to a heating system involving use of mixing pump based on linearization of the equation of the temperature curve in the heating system in a close proximity to the breakpoint temperature. Analysis is given of results obtained, and conclusions are drawn regarding the feasibility of the arrangement under consideration. It is found that the value of the current dimensionless difference of temperatures of indoor and outdoor air at the breakpoint does not depend on climatic parameters of the construction area, and the required admixing ratio is almost directly proportional to the excess of outdoor temperature compared to the breakpoint temperature. It is shown that the higher the estimated water temperature in the return line of the heat network at the breakpoint is, the higher the value of the admixing ratio. Recommendations are given on sharing the elevator and the mixing pump in order to minimize variations at reconstruction of the heat entry to eliminate oversupply of heat.

KEYWORDS: heat delivery, heat losses, temperature, breakpoint temperature, linearization, admixing ratio, heat supply reliability, life safety

Введение и обзор литературы

Для наибольшего соответствия теплоподдачи в здания их фактической теплопотребности в течение отопительного периода в условиях применения качественной схемы регулирования, позволяющей сохранить постоянство расхода сетевой воды и, тем самым, стабильность гидравлического режима теплосети, обычно изменяется температура воды. При этом требуемое текущее значение такой температуры в подающей и обратной магистралях T_1 и T_2 в зависимости от фактической температуры наружного воздуха t_n при заданной средней температуре в помещениях здания t_b (здесь и далее все параметры измеряются в °C) с учетом нелинейности изменения теплоотдачи отопительных приборов можно определить по уравнениям отопительного графика [1, 2]:

$$\begin{aligned} T_1 &= t_b + 0.5 \cdot \Delta t_{\text{сист}} \cdot \delta t + (T_{\text{ср}} - t_b) \cdot \delta t^{\frac{1}{n+1}} \\ T_2 &= T_1 - \Delta t_{\text{сист}} \cdot \delta t. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь

$$\delta t = \frac{t_b - t_n}{(t_b - t_n)_{\text{расч}}} \quad \text{— текущая безразмерная}$$

относительная разность температур;

$$T_{\text{ср}} = \frac{(T_1 + T_2)_{\text{расч}}}{2} \quad \text{— средняя расчетная температура}$$

воды в тепловой сети;

$\Delta t_{\text{сист}} = (T_1 - T_2)_{\text{расч}}$ — расчетная разность температур воды в системе отопления;

n — показатель степени, характеризующий изменение коэффициента теплопередачи отопительных приборов при колебаниях температурного напора. Он определяется экспериментально и приводится в справочной литературе, например, в [3]. Для наиболее распространенных конвективно-радиационных приборов показатель n в среднем близок к $\frac{1}{4}$, поскольку лучистая составляющая теплоотдачи от температурного напора зависит практически линейно. При этом за расчетные

условия в (1) принимается режим, соответствующий наиболее холодной пятидневке с обеспеченностью 0.92, т. е. с наружной температурой t_{n5} по СП 131.13330.2012 «Актуализированная редакция СНиП 23-01-99 «Строительная климатология»».

Однако, исходя из потребностей обеспечения нагрева воды для горячего водоснабжения, осуществляется так называемый «излом» температурного графика при наиболее высоких наружных температурах, близких к граничной величине для начала и конца отопительного периода $t_{\text{тр}}$, равной для преобладающего количества жилых и общественных зданий $+8^\circ\text{C}$. Следовательно, в точке излома по определению $T_{1,и} = +70^\circ\text{C}$, и ниже быть уже не может. Соответственно, и $T_{2,и}$ — температура воды в обратной магистрали в точке излома — при более высоких t_n тоже не будет меняться. Но тогда при $t_n > t_{\text{тр}}$ фактические значения T_1 и T_2 будут выше, чем требовались бы по расчету из (1), и, если не применять специальных мер, будет иметь место избыточная подача теплоты в здания, приводящая к повышению t_b сверх допустимой по условиям безопасности жизнедеятельности и соответствующему дискомфорту, сопровождающемуся бесполезными потерями энергии — так называемому «перетопу».

Возможны различные приемы согласования теплоподдачи и теплопотерь, в основном системного характера. Некоторые из них предлагаются в работах [4–5] и других публикациях тех же исследователей, а также в публикации [6] автора предлагаемой статьи. Сходные вопросы рассматривались также в ряде работ зарубежных авторов [7–9]. При независимом присоединении систем отопления зданий (через теплообменник) эта проблема решается с помощью надлежащего автоматического регулирования, качественного или количественного, поскольку в данном случае температуры воды в системе отопления со значениями T_1 и T_2 напрямую не связаны. В то же время до сих пор подавляющее большинство жилых зданий подключено к наружным сетям по зависимой схеме. При этом осуществляется подмешивание необходимой части воды из обратной магистрали, чтобы довести температуру в подающем трубопроводе t_r до допустимого уровня в местной системе отопления (как правило, 95°C в расчетном зимнем режиме) [10]. А поскольку для подмешивания ис-

пользуются в основном гидроэлеваторы с постоянным коэффициентом эжекции, избыточная теплоподача сохраняется, так как при этом t_r будет жестко связана с T_1 .

Постановка задачи и методы решения

Один из простейших способов устранения рассматриваемого недостатка — это переход к регулируемому подмешиванию с использованием смесительного насоса. В настоящее время постепенно начинается процесс реконструкции тепловых узлов жилых зданий с заменой элеваторов на такие насосы. Рассмотрим, как можно при этом определить количество подмешиваемой воды для приведения T_1 к требуемому уровню в соответствии с формулами (1). Обозначим величину δt для условий точки излома как δt_o . Долю расхода воды, подмешиваемой из обратного трубопровода тепловой сети, т. е. коэффициент подмешивания, очевидно, можно определить по выражению:

$$a = \frac{T_{1.и} - T_1}{T_{1.и} - T_2}.$$

В знаменателе стоит именно текущая величина T_2 , а не $T_{2.и}$, поскольку очевидно, что при подаче в здание воды с требуемой температурой T_1 на выходе также будет температура, соответствующая температурному графику, поскольку разность T_1 и T_2 при заданном расходе воды определяется передаваемым количеством теплоты, которое, в свою очередь, связано с текущей величиной t_H . Что же касается разности $T_{1.и} - T_1$, то ее можно приближенно выразить из (1) с помощью линеаризации первого уравнения, воспользовавшись, в том числе, и малостью показателя n . Для этого представим параметр δt в малой окрестности δt_o как $\delta t_o - \Delta$, где

$$\Delta = \frac{t_H - t_{H.изл}}{(t_B - t_H)_{расч}} \quad \text{— относительное отклонение } t_H \text{ от}$$

ее значения в точке излома $t_{H.изл}$. Теперь учтем, что $T_{1.и} - T_2 = T_{1.и} - T_1 + (T_1 - T_2)$, где разность $T_1 - T_2 = \Delta T_{сист} \delta t$ из формул (1). После выполнения необходимых промежуточных преобразований окончательно получаем:

$$a = 1 - \frac{1}{1 + \delta t_H \left[\frac{1}{2} + \frac{T_{cp} - t_B}{\Delta T_{сист} (n+1) \delta t_o^{\frac{n}{n+1}}} \right]}, \quad (2)$$

где

$$\delta t_H = \frac{\Delta}{\delta t} = \frac{t_H - t_{H.изл}}{t_B - t_H} \quad \text{— также безразмерное}$$

отклонение t_H , но по отношению к разности $(t_B - t_H)$. Теперь остается определить значение $t_{H.изл}$, что даст возможность найти одновременно δt_o и δt_H . Это можно сделать также с помощью линеаризации, если представить δt_o как сумму $(C + x)$, где C — некоторая константа, близкая к предполагаемому уровню δt_o , x — малый параметр. Если принять $C = 0.3$, тогда, учитывая, что $T_{1.и} = +70$, после соответствующих преобразований оказывается:

$$\delta t_o = 0.3 + \frac{70 - 0.3 \cdot \Delta T_{сист} / 2 - t_B - (T_{cp} - t_B) \cdot 0.3^{\frac{1}{n+1}}}{\Delta T_{сист} / 2 + \frac{T_{cp} - t_B}{(n+1) 0.3^{\frac{n}{n+1}}}}. \quad (3)$$

Результаты и анализ

Для наиболее распространенных параметров температурного графика $T_{1.расч} = +150^\circ\text{C}$, $T_{2.расч} = +70^\circ\text{C}$, $t_B = +20^\circ\text{C}$ и $n = 1/4$ получаем $\Delta T_{сист} = 150 - 70 = 80$; $T_{cp} = (150 + 70)/2 = 110$; откуда $\delta t_o = 0.328$, т. е. действительно мало отличается от первоначально заданного $C = 0.3$. Заметим, что величина t_H в формулу (3) не входит, поэтому значение δt_o от района строительства не зависит.

Для этого же режима выражение (2) переходит в следующее:

$$a = 1 - \frac{1}{1 + 1.625 \cdot \delta t_H} = 1 - \frac{1}{1 + 1.625 \frac{t_H - t_{H.изл}}{20 - t_H}}, \quad (4)$$

где в размерном виде $t_{H.изл}$ уже будет связана с климатическими параметрами, поскольку вычисляется как $t_B - \delta t_o (t_B - t_H)_{расч}$, или в данном случае $20 - 0.328 \cdot (20 - t_{H5}) = 13.44 + 0.328 \cdot t_{H5}$. В частности, для Москвы при $t_{H5} = -25^\circ$ получаем $t_{H.изл} = +5.24^\circ$. График зависимости (4) приведен на рисунке сплошной линией. Легко видеть, что параметр a зависит от разности $(t_H - t_{H.изл})$ практически прямо пропорционально, и коэффициент пропорциональности в данном случае равен примерно 0.095. Если считать $T_{1.и} = +75^\circ$, как в последние годы в ряде случаев принимается в Москве, находим из (3) $\delta t_o = 0.366$, т. е. $t_{H.изл} = +3.53^\circ$. Тогда числовой коэффициент в знаменателе выражения (4) уменьшается до 1.6. График соответствующей зависимости показан также на рисунке пунктиром. Очевидно, что и здесь она близка к прямой пропорциональности, но с несколько меньшим коэффициентом, около 0.081.

Выводы

С энергетической точки зрения подмешивание воды из обратной магистрали тепловой сети в количестве, определенном в настоящей работе, позволит обеспечить надежность теплоснабжения основной группы жилых зданий при $t_H > t_{H.изл}$ с минимальной реконструкцией существующих узлов и сооружений.

В рассматриваемой схеме смесительный насос фактически может устанавливаться без ликвидации элеватора, и будет выполнять только корректирующие функции в начале и конце отопительного периода для предотвращения «перетоков» и при необходимости — при более низких t_H при каких-либо отклонениях от расчетного режима.

Последующее доведение величины t_r до требуемой именно в местной системе отопления можно осуществить дальнейшим подмешиванием воды из обратной магистрали в существующем элеваторе с сохранением его коэффициента эжекции, остающегося неизменным в течение отопительного периода. Следовательно, такой насос может устанавливаться даже не непосредственно

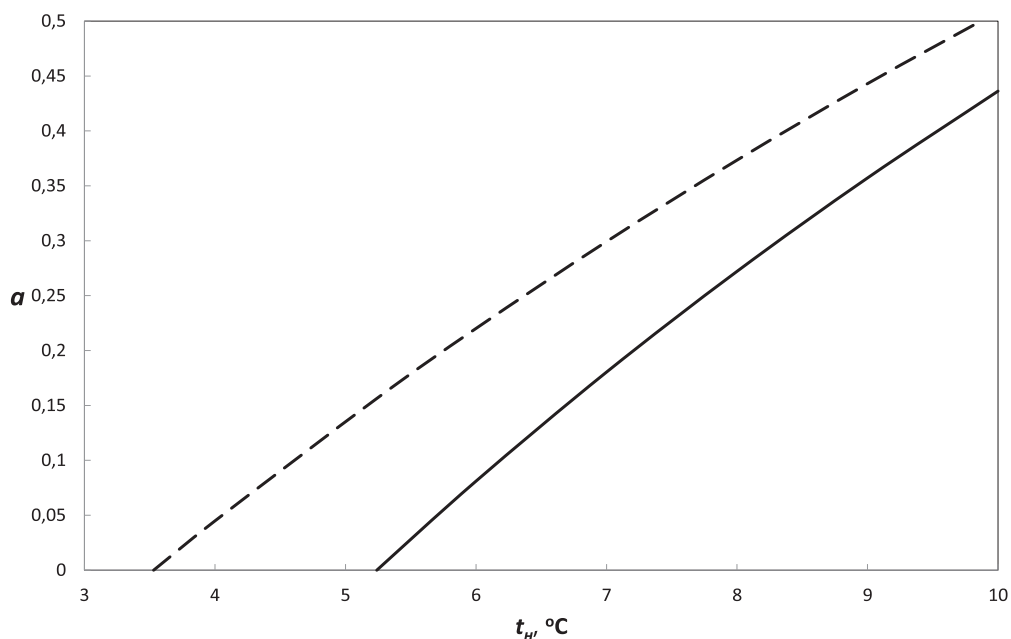


Рисунок. Зависимость коэффициента a от t_n по выражению (4) для климатических условий Москвы.

Figure. Dependence of the factor a on t_n according the expression (4) at the climatic parameters of Moscow.

в здании, а, например, в ЦТП, что должно предусматриваться изначально, хотя на практике, как правило, не осуществляется.

Список использованных источников

1. Хрусталеv Б.М., Кувшинов Ю.Я., Копко В.М. Теплоснабжение и вентиляция. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во АСВ. 2010. 784 с.
2. Самарин О.Д. Теплофизика. Энергосбережение. Энергоэффективность. – М.: Изд-во АСВ. 2014. 296 с.
3. Крупнов Б.А., Крупнов Д.Б. Отопительные приборы, производимые в России и ближнем зарубежье. 4-е изд. – М.: Изд-во АСВ. 2015. 176 с.
4. Повышение эффективности работы централизованных систем теплоснабжения за счет применения теплонасосных установок. / П.В. Ротов, М.Е. Орлов, В.И. Шарапов, А.А. Сивухин // Промышленная энергетика. 2014. №7. С. 27–31.
5. Шарапов В.И. О некоторых аспектах технической политики в теплоснабжении. // Энергосбережение и водоподготовка. 2013. №5 (85). С. 9–12.
6. Самарин О.Д. О некоторых вопросах реализации энергосберегающих мероприятий при реконструкции зданий. // Энергоэффективность. Опыт. Проблемы. Решения. 2010. №1–2. С. 17–18.
7. Allan Hani, Teet-Andrus Koiv. Energy Consumption Monitoring Analysis for Residential, Educational and Public Buildings. // Smart Grid and Renewable Energy. Vol.3. №3. 2012. P.231 – 238.
8. Kilkis I.B. Technical issues in low to medium-temperature district heating. // International Journal of Global Energy Issues. 2002. Vol. 17. №1–2. P. 113.
9. Paiho S., Abdurafikov R., Hoang H. Cost analyses of energy-efficient renovations of a Moscow residential district. // Sustainable Cities and Society. 2015. V. 14. №1. P. 5–15.
10. Махов Л.М. Отопление. – М.: Изд-во АСВ. 2014. 400 с.

References

1. B. M. Khrustalev, Yu. Ya. Kuvshinov, V. M. Kopko. Teplosnabzheniye

i ventilyaciya [Heat supply and ventilation]. The 3rd ed., rev. and suppl. Moscow: Izdatel'stvo ASV [ASV Publishers]. 2010. 784 p.

2. O. D. Samarin. Teplofizika. Energoberezheniye. Energoeffektivnost' [Thermal physics. Energy saving. Energy efficiency]. Moscow: Izdatel'stvo ASV [ASV Publishers]. 2014. 296 p.

3. B. A. Krupnov, D.B. Krupnov. Otopitel'nye pribory, proizvodimye v Rossi i blizhnem zarubezhye [Heating devices produced in Russia and the nearest foreign countries]. The 4th ed. Moscow: Izdatel'stvo ASV [ASV Publishers]. 2015. 176 p.

4. P. V. Rotov, M. E. Orlov, V.I. Sharapov, A. A. Sivukhin. Povysheniye effektivnosti raboty centralizovannykh sistem teplosnabzheniya za schet primeneniya teplonasosnykh ustanovok [The increase of efficiency of operation of centralized heat supply systems by using heat pump units]. // Promyshlennaya energetika [Industrial power-engineering]. 2014. №7. P. 27–31.

5. V. I. Sharapov. O nekotorykh aspektakh tekhnicheskoy politiki v teplosnabzhenii [On some aspects of the technical policy in the heat supply]. // Energoberezheniye i vodopodgotovka [Energy saving and water treatment]. 2013. №5 (85). P. 9–12.

6. O.D. Samarin. O nekotorykh voprosakh realizacii energobere-gayushchikh meropriyatiy pri rekonstrukcii zdaniy [On some questions of the implementation of energy saving measures at the building renewal]. // Energoeffektivnost'. Opyt. Problemy. Resheniya [Energy efficiency. Experience. Problems. Solutions]. 2010. №1–2. P. 17–18.

7. Allan Hani, Teet-Andrus Koiv. Energy Consumption Monitoring Analysis for Residential, Educational and Public Buildings. // Smart Grid and Renewable Energy. Vol.3. №3. 2012. P. 231–238.

8. I. B. Kilkis. Technical issues in low to medium-temperature district heating. // International Journal of Global Energy Issues. 2002. Vol. 17. №1–2. P. 113.

9. S. Paiho, R. Abdurafikov, H. Hoang. Cost analyses of energy-efficient renovations of a Moscow residential district. // Sustainable Cities and Society. 2015. V. 14. №1. P. 5–15.

10. Makhov L. M. Heating. – Moscow: Publishing House of the DIA. 2014. 400 p.