

<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2020-13-1-41-47>

УДК 697.1:699.86

Анализ надежного и безопасного теплоснабжения жилых зданий с использованием отработанной воды после подогревателей ГВС

Самарин О. Д.

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
(НИУ МГСУ)

Ярославское ш. 26, 129337, г. Москва, Россия

Поступила / Received 15.01.2020

Принята к печати / Accepted for publication 27.02.2020

Рассмотрена модифицированная схема теплоснабжения жилых зданий с зависимым присоединением к наружным теплосетям, обеспечивающая надежность теплоподдачи и необходимую комфортность в помещениях за счет подмешивания части воды после подогревателей горячего водоснабжения (ГВС) при наружной температуре, превышающей точку излома температурного графика. Выполнен обзор возможных способов повышения надежности и безопасности теплоснабжения, повышения эффективности теплоисточников, а также регулирования теплоподдачи и предотвращения «перетоков» вблизи начала и конца отопительного периода. Проведены расчеты, позволяющие определить фактическую амплитуду колебаний температуры в жилых зданиях при суточном изменении расхода воды после подогревателей ГВС в условиях применения рассматриваемой схемы присоединения зданий к теплосети. Дан анализ полученных результатов и сделаны выводы относительно целесообразности применения данной схемы. Установлено, что с учетом теплоустойчивости ограждающих конструкций суточные колебания расхода существенно не сказываются на стабильности температурного режима жилых зданий и комфортности их внутреннего микроклимата при высоких температурах наружного воздуха. Показано, что при этом с точки зрения надежности теплоснабжения основной группы жилых зданий и обеспечения безопасности жизнедеятельности людей предлагаемая схема не уступает стандартной двухступенчатой схеме присоединения теплообменников ГВС с ограничением суммарного расхода сетевой воды и со связанным регулированием теплоподдачи на ГВС, отопление и вентиляцию. Отмечено, что в рассматриваемой схеме среднесуточный расход сетевой воды на подогреватели ГВС в течение преобладающей части отопительного периода выше или равен расчетному расходу на нужды отопления и вентиляции, что минимизирует время работы смесительного насоса и обеспечивает регулирование теплоподдачи только за счет контура отработанной воды.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: теплоподдача, точка излома, температура, отработанная вода, теплообменник, горячее водоснабжение

Благодарности

Некоторые результаты работы, представленные в статье, получены в ходе выполнения НИР для патента РФ (правообладатель НИУ МГСУ) «Конструкция индивидуального теплового пункта» № 2689873 от 29.05.19 (приоритет изобретения 16.11.18).

Адрес для переписки:

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

Address for correspondence:

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

Для цитирования:

Самарин О. Д. Анализ надежного и безопасного теплоснабжения жилых зданий с использованием отработанной воды после подогревателей ГВС. Надежность и безопасность энергетики. 2020. Т. 13, №1. – С. 41 – 47.
<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2020-13-1-41-47>

For citation:

Samarin O. D. [The analysis of the secure and safe heat supply of residential buildings using the waste water after the heat exchangers for DHW]. Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki [Safety and Reliability of Power Industry]. 2020, vol. 13, no. 1, pp. 41 – 47 (in Russian).
<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2020-13-1-41-47>

Analysis of reliable and safe heat supply of residential buildings using waste water after DHW heat exchangers

Samarin O. D.

*National Research Moscow State University of Civil Engineering
Yaroslavskoye Highway, 26, 129337, Moscow, Russia*

A modified scheme of heat supply of residential buildings with dependent connection to external heating networks, providing reliability of heat supply and the necessary comfort in the premises due to mixing of waste water after domestic hot water (DHW) heaters at an outdoor temperature exceeding the temperature graph break point, is considered. A review of possible ways to improve the reliability and safety of heat supply, improve the efficiency of heat sources, as well as regulate heat supply and prevent "overheating" near the beginning and end of the heating period is carried out. Calculations are carried out to determine the actual amplitude of temperature fluctuations in residential buildings with a daily variation in water flow rate after hot water heaters in the conditions of application of the considered scheme of connecting buildings to the heating network. Analysis of obtained results is given, and conclusions are drawn concerning the expediency of application of the above scheme. It is established that, given the thermal stability of enclosing structures, the daily flow rate fluctuations have no significant effect on the stability of the temperature regime of residential buildings and the comfort of their indoor microclimate at high outdoor air temperatures. It is shown that, in terms of reliability of heat supply of the main group of residential buildings and ensuring the life safety, the offered scheme is not inferior to the standard two-stage scheme of connection of DHW heat exchangers, with restriction of the total consumption of network water and with dependent control of heat supply to DHW, heating and ventilation. It is noted that in the scheme under consideration, the daily average consumption of network water to domestic hot water heaters over most of the heating period is higher or equal to the estimated consumption for heating and ventilation systems, which minimizes the time of using the mixing pump and provides for the regulation of heat supply only at the expense of the wastewater circuit.

KEYWORDS: heat feed, break point, temperature, waste water, heat exchanger, domestic hot water supply

Acknowledgments

Some results of the work presented in the article were obtained during the implementation of research for a patent of the Russian Federation (right holder: NRU MSUCE) "Construction of individual heat point" № 2689873 dated 29.05.19 (priority of invention 16.11.18)".

Введение и обзор литературы

В условиях, близких к моменту начала или конца отопительного сезона, когда из-за необходимости обеспечения нагрева воды в системах горячего водоснабжения (ГВС) температуры воды в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети вынужденно оказываются выше, чем требуется в это время по отопительному графику, может произойти избыточная теплоподача в здания, которую обычно называют «перетопом». При этом ухудшается комфортность людей в помещении и безопасность их жизнедеятельности, а также возникают излишние затраты теплоты, приводящие в конечном счете к перерасходу топлива и неоправданному дополнительному загрязнению окружающей среды.

С целью предотвращения этого явления предложены различные способы, в том числе подмешивание отработанной воды из обратной магистрали и некоторые общесистемные меры [1–7]. Например, речь идет о применении тепловых насосов вместо пиковых котлов, о комбинировании элементов централизованного и децентрализованного подогрева воды в теплосетях, переходе к использованию квартирных тепловых пунктов, совершенствовании инженерных систем и некоторых других мероприятиях. Продолжает рассматри-

ваться и повышение теплозащиты оболочки зданий, но также в комплексе с остальными решениями. Безусловно, такие подходы способны дать значительный энергетический эффект, в том числе не только путем непосредственного устранения избыточной теплоподдачи, но и за счет повышения КПД ТЭЦ в условиях когенерации, но они требуют существенных капитальных вложений и организационных мероприятий.

В то же время для жилых зданий, где велика доля ГВС в общем энергетическом балансе и, соответственно, значителен расход воды из теплосети на подогреватели ГВС, была предложена схема, которая предусматривает понижение температуры сетевой воды на входе в систему отопления до требуемой по графику за счет подмешивания отработанной воды после подогревателей ГВС [8, 9]. С применением материалов [8, 9] подана заявка на патент РФ «Конструкция индивидуального теплового пункта» от НИУ МГСУ № 2018140542 от 16.11.18. Помимо решения задачи непосредственно по предотвращению «перетопов», схема с использованием отработанной сетевой воды после теплообменников ГВС в первую очередь позволяет легко использовать остаточную теплоту этой воды для поддержания необходимой комфортности в зданиях после официального окончания отопительного сезона. Указанная проблема

решается путем подачи данной воды в систему отопления в случае похолоданий, как это рассмотрено в [8]. Данная схема для наглядности изображена на рисунке 1, а для сравнения соответствующий ей существующий вариант — на рисунке 2.

Здесь t_r и t_x — температуры нагретой воды в водоразборном трубопроводе системы ГВС и исходной воды из холодного водопровода, TE и TC — соответственно датчик и регулятор температуры, FE и FC — датчик и регулятор расхода в соответствии с обозначениями, принятыми для функциональных схем автоматического регулирования. Реально датчики и регуляторы, как правило, объединены в соответствующих регуляторах прямого действия. Таким образом, требуется дополнительно только ответвление с насосом (ДН — AP, additional pump) для повышения давления отработанной воды до уровня подающей магистрали, регулятор температуры и обратный клапан на трубопроводе, соединяющем теплообменник ГВС с обратной магистралью, чтобы предотвратить обратное перетекание воды под действием насоса. Насос оборудуется частотно-регулируемым приводом, и в этом случае сигнал от TC поступает непосредственно на привод ДН, который выполняет также одновременно функцию дополнительного регулятора расхода [8, 9].

Однако анализ работоспособности данной схемы был выполнен только для среднесуточного режима и в условиях, близких к точке излома температурного графика t_u . В то же время водопотребление в системе ГВС в течение суток существенно колеблется и, соответственно, меняется расход отработанной сетевой воды [10]. Кроме того, целесообразно исследовать, что будет происходить в данной схеме в течение отопительного периода при понижении температуры наружного воздуха.

Постановка задачи и методы решения

Рассмотрим наиболее худший случай, когда водоразбор на ГВС вообще отсутствует и, таким образом, подмешивание отработанной воды в подающий трубопровод тепловой сети не осуществляется. Тогда температура нагретой воды на входе в систему отопления будет равна $T_{1.и} = 70^\circ\text{C}$ или даже несколько выше. Очевидно, что ее наибольшее превышение над требуемым по температурному графику будет в условиях, соответствующих началу или концу отопительного сезона, т. е. при температуре наружного воздуха $t_n = +8^\circ\text{C}$. Заметим, что по физическому смыслу при данной величине

t_n фактическая теплотребность здания с учетом имеющихся теплопоступлений должна быть близкой к нулю. Следовательно, действительная теплоподача системы отопления в рассматриваемом режиме будет являться возмущающим тепловым воздействием, вызывающим отклонение t_b от уровня, диктуемого требованиями комфортности внутреннего микроклимата. Соответствующее значение теплового потока можно определить, если учесть, что оно должно равняться теплотерям здания при t_n , соответствующей точке излома температурного графика. Можно показать, что при расчетных значениях температуры нагретой воды в подающем теплопроводе теплосети $T_1 = +150^\circ$ и $t_{н5} = -25^\circ$ — расчетной температуре наружного воздуха для наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0.92 для Москвы по данным [11] эта температура будет равна примерно $+5^\circ\text{C}$.

Исследуем также вариант, когда в среднесуточном режиме можно попытаться полностью отказаться от смесительного насоса и снижать температуру T_1 до допустимой в системе отопления $t_{н.от}$ (в расчетном режиме обычно $+95^\circ\text{C}$) даже при $t_n < t_{н.и}$ исключительно за счет подмешивания обратной воды после подогревателей ГВС. Вообще говоря, в рассма-

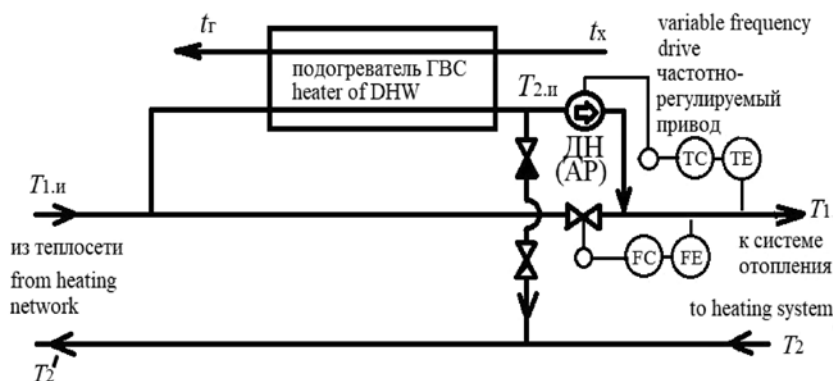


Рисунок 1. Схема использования отработанной воды после подогревателей ГВС для предотвращения «перетоков» в системе отопления

Figure 1. Scheme of the waste water after the domestic hot water heaters to prevent excessive heat feed in the heating system

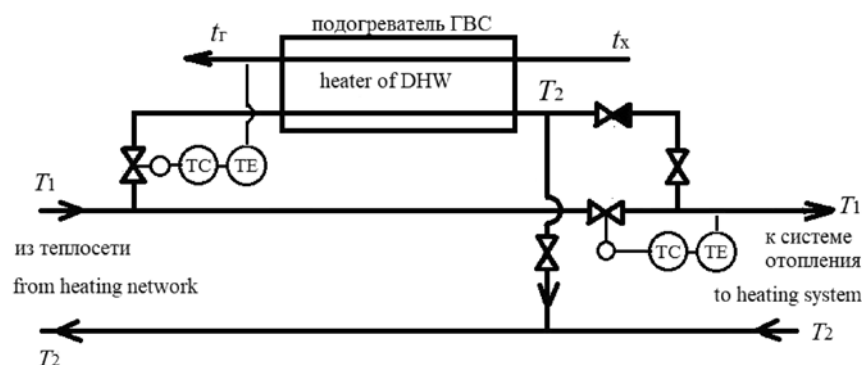


Рисунок 2. Существующая параллельная схема подключения подогревателя ГВС к тепловой сети

Figure 2. Existing parallel scheme for connecting the DHW heater to the heat network

триваемой схеме подобная задача не ставится, поскольку ее реализация предназначена именно для обеспечения возможности отопления в случае резких похолоданий за пределами официального отопительного сезона с целью обеспечения требуемой комфортности внутреннего микроклимата и безопасности жизнедеятельности, а также, в качестве дополнительного полезного эффекта, для ликвидации «перетоков» в начале и конце отопительного сезона. Однако в методических целях исследование соответствующего режима представляет интерес.

Как известно, требуемый среднесуточный расход сетевой воды на подогреватели ГВС, кг/с (kg/s), будет равен [10]:

$$G_{\text{ГВ.ТС}}^{\text{ср}} = \frac{1.1 G_{\text{ГВ.ср}} (t_{\text{Г}} - t_{\text{Х}})}{(T_1 - T_2) \cdot 86400}.$$

Здесь $t_{\text{Г}} = +65^\circ$ и $t_{\text{Х}} = +10^\circ$ — температуры нагретой воды в водоразборном трубопроводе системы ГВС и исходной воды из холодного водопровода в условиях, близких к моменту начала и конца отопительного периода; 86400 — число секунд в сутках, 1.1 — балансовый коэффициент. Среднесуточное водопотребление в системе ГВС $G_{\text{ГВ.ср}}$, л/сут (l/day), определяется по [12] и является постоянной величиной, в то время как температуры T_1 и T_2 , очевидно, варьируются в соответствии с температурным графиком. Следовательно, меняться будет и $G_{\text{ГВ.ТС}}^{\text{ср}}$, уменьшаясь с понижением $t_{\text{Х}}$. В то же время расчетный расход сетевой воды на нужды отопления и вентиляции $G_{\text{ОВ}}$, кг/с (kg/s), хотя и вычисляется для условий наиболее холодной пятидневки, но считается неизменным в течение отопительного периода, поскольку разность T_1 и T_2 меняется пропорционально теплотерям здания Q , Вт (W) [10]:

$$G_{\text{ОВ}} = \frac{Q}{c_w (T_1 - T_2)}.$$

Здесь $c_w = 4190$ Дж/(кг·К) (J/(kg·K)) — удельная теплоемкость воды.

Результаты и анализ

Для жилого здания по серии ПЗ-1/16, использованного в качестве примера в [8], теплотехнические показатели приведены в таблице. Здесь A_i — площади наружных и основных внутренних ограждений, принимаемые по строительным чертежам; Y_i — коэффициенты теплоусвоения ограждающих конструкций теплопередаче, принимаемые по Приложению [13] с использованием рекомендаций [10, 14]. Величина $P_{\text{орг}} = \sum A_i Y_i$ представляет собой суммарный показа-

Таблица. Теплотехнические показатели ограждений здания

Table. Thermal indexes of building enclosures

Ограждение Enclosure	Материал* Material	A_i , м ² (m ²)	Y_i , м ² ·К/Вт (m ² ·K/W)	$A_i Y_i$, Вт/К (W/K)
Наружная стена External wall	Керамзитобетон Claydite-concrete	3157	6.13	19352
Междуэтажные перекрытия** Floors	Железобетон Reinforced concrete	354·17 = 6018	11.4	68606
Окна Windows	—	$\sum A_{\text{ок}} = 699$	1.79	1251
Сумма Sum	—	$\sum A_i = 9874$	—	$P_{\text{орг}} = \sum A_i Y_i = 89209$

*) со стороны, обращенной в помещения

**) с учетом количества этажей (16); площадь принимается в натуральном размере, без удвоения, поскольку перекрытия являются внутренними ограждениями, и температурная волна распространяется с обеих сторон

тель теплоусвоения ограждений помещений здания без учета внутренних перегородок, т. е. это несколько заниженная величина по сравнению с действительной. В этом случае фактическая амплитуда колебаний $t_{\text{в}}$, наоборот, получит оценку по верхнему возможному пределу.

Принимая средний коэффициент конвективного теплообмена на внутренних поверхностях $\alpha_{\text{к.ср}}$ в размере около 3.7 м²·К/Вт (m²·K/W), вычисляем суммарный показатель конвективного теплообмена $\Lambda = \alpha_{\text{к.ср}} \sum A_i = 3.7 \cdot 9874 = 36534$ Вт/К (W/K). Далее находим показатель теплопоглощения вентиляционного воздуха $P_{\text{вент}} = 0.28 L_{\text{расч}} \rho_{\text{в}}^{\text{вент}} = 0.28 \cdot 9520 \cdot 1.3 = 3465$ Вт/К (W/K), где $L_{\text{расч}} = 9520$ м³/ч (m³/h) — вентиляционная норма воздуха [8], $c = 1$ кДж/(кг·К) (kJ/(kg·K)) — удельная теплоемкость воздуха; $\rho_{\text{в}}^{\text{вент}}$ — его плотность при соответствующей температуре, кг/м³; откуда показатель теплопоглощения помещений здания равен [11, 15]:

$$P_{\text{зд}} = \frac{1}{\frac{1}{\Lambda} + \frac{1}{P_{\text{орг}}}} + P_{\text{вент}} = \frac{1}{\frac{1}{36534} + \frac{1}{89209}} + 3465 = 29376 \text{ Вт/К (W/K)}.$$

С использованием данных [1] теплотери здания при $t_{\text{н}} = +5^\circ$ будут равны:

$$Q_5 = Q_{\text{ТП}} \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{t_{\text{в}} - t_{\text{н5}}} = 109503 \frac{20 - 5}{20 - (-25)} = 36501 \text{ Вт (W)}.$$

Здесь принято значение $t_{\text{в}} = +20^\circ\text{C}$ в соответствии с [15]. Параметр $Q_{\text{ТП}} = 109503$ Вт представляет собой расчетные теплотери при $t_{\text{н}} = t_{\text{н5}}$ [1].

Теперь можно оценить амплитуду колебаний $t_{\text{в}}$ при суточных изменениях водоразбора в системе ГВС [10, 14]:

$$A_{t_{\text{в}}} = \frac{0.9 Q_5}{P_{\text{зд}}} = \frac{0.9 \cdot 36501}{29376} = 1.12^\circ.$$

Таким образом, фактическая величина t_b будет лежать в пределах 18.88 ... 21.12°, что заведомо лежит в пределах допустимого диапазона 18 ... 23° для жилых помещений в соответствии с [15]. Более того, полученная амплитуда колебаний t_b того же порядка, что и для стандартной двухступенчатой схемы присоединения теплообменников ГВС с ограничением суммарного расхода сетевой воды и со связанным регулированием теплоподдачи на ГВС, отопление и вентиляцию. Следовательно, предлагаемая схема с точки зрения надежности и безопасности теплоснабжения не уступает стандартной.

С целью дополнительной проверки данных результатов был также произведен расчет действительного нестационарного теплового режима для одного из помещений рассматриваемого здания при использовании приведенных выше конструктивных характеристик ограждений и принципов расчета теплоподдачи. Для вычислений использовалась разработанная программа для ЭВМ на алгоритмическом языке Fortran, реализующая конечно-разностную аппроксимацию дифференциальных уравнений теплопередачи в ограждающих конструкциях, теплообмена на их поверхностях и теплового баланса помещения в целом [16]. Результаты расчета приведены на рисунке 3. Неравномерность теплопотребления, вызванная изменением водоразбора в системе ГВС, моделировалась более точно с учетом различной амплитуды разных составляющих водопотребления. Нетрудно видеть, что диапазон изменения t_b в данном случае оказался даже меньше, чем по аналитической оценке, поэтому можно утверждать, что она дает некоторый верхний предел для представляющей интерес амплитуды колебаний.

На рисунке 4 сплошной линией показан график отно-

шения $g_{ГВС} = G_{ГВ.ТС}^{cp} / G_{ОВ}$ для здания, использованного в качестве примера в [8]. Для него $G_{ОВ} = 0.55$ кг/с (kg/s), а максимальное значение $G_{ГВ.ТС}^{cp}$ в точке излома температурного графика составляет 0.64 кг/с (kg/s).

Для сравнения пунктиром изображена требуемая доля отработанной воды после подогревателей ГВС в смеси, направляемой в подающий трубопровод теплосети для поддержания в ней необходимой величины T_1 в соответствии с температурным графиком. Можно заметить, что при $t_n < -5^\circ\text{C}$ отработанной воды действительно будет не хватать, что и вызывает необходимость сохранения в схеме смесительного насоса. Однако его функции здесь оказываются более ограниченными, поскольку он будет работать только при понижении наружной температуры ниже указанного уровня, и при постоянном коэффициенте подмешивания. Функции регулирования при этом полностью будут обеспечиваться контуром отработанной воды. Кроме того, нужно отметить, что значение $t_n = -5^\circ\text{C}$ существенно ниже средней температуры наружного воздуха за отопительный период, которая для Москвы по [11] равна -2.2°C , и, таким образом, в течение его преобладающей части подмешивание будет осуществляться только за счет отработанной воды.

Можно также оценить достигаемую у потребителя экономию теплоты ΔQ , Дж (J), за счет устранения «перетоков» с помощью рассматриваемой схемы. Для этого, очевидно, необходимо найти разность потребления теплоты зданием за период, когда $t_n > t_n$, в случае, если подача теплоты осуществляется без корректировки температурного графика, и при ее наличии за счет подмешивания отработанной воды после подогревателей ГВС. В условиях рассматриваемого примера для климатических условий Москвы суммарная продолжи-

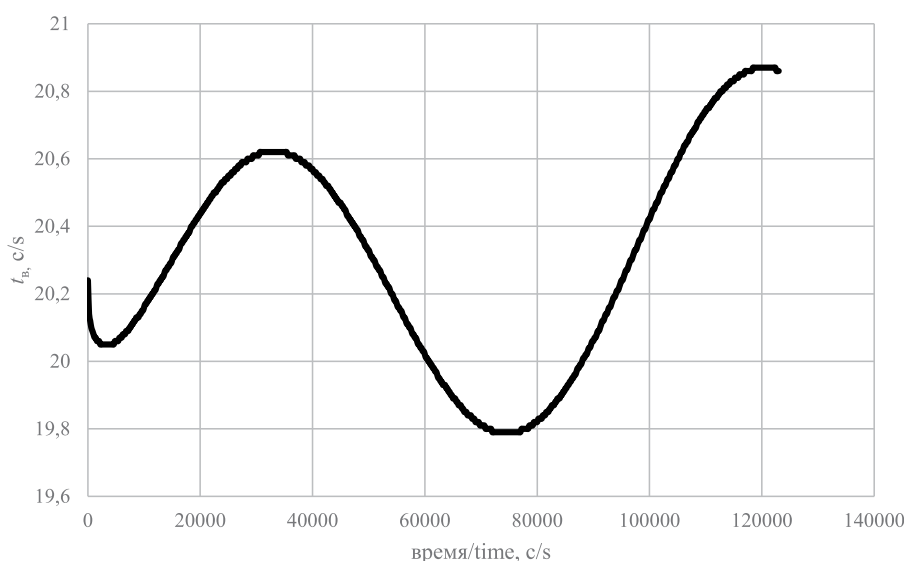


Рисунок 3. Зависимость температуры воздуха в одном из помещений здания от времени из-за колебаний водоразбора в системе ГВС по данным численного расчета

Figure 3. The dependence of the air temperature in one of the premises of the building on time due to fluctuations in water intake in the DHW system according to numerical calculation

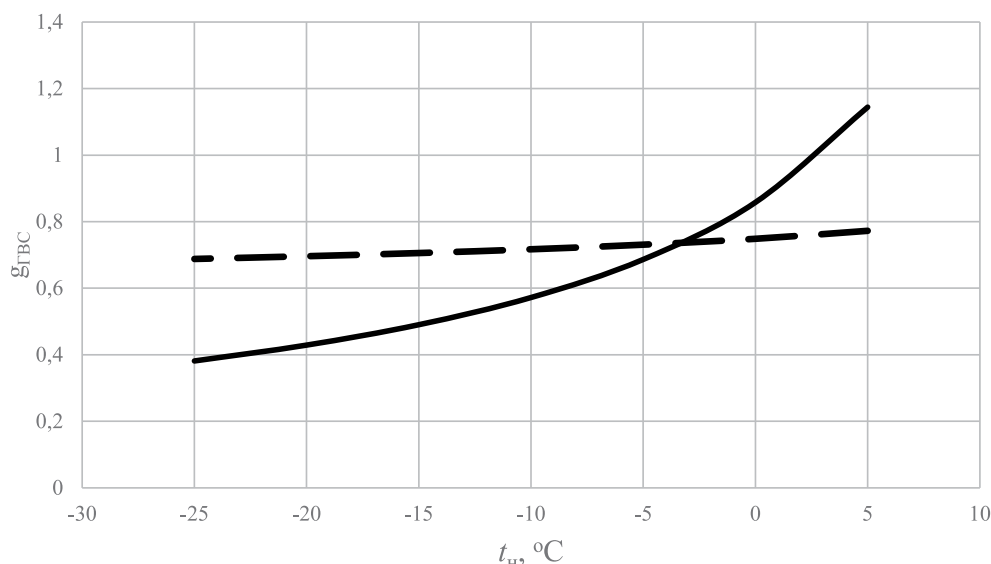


Рисунок 4. Зависимость относительного расхода сетевой воды на подогреватели ГВС от t_n
Figure 4. The dependence of the relative flow of mains water to the DHW heaters from t_n

тельность такого периода в пределах отопительного сезона составляет около $z = 27$ суток (days) [17]. Отсюда получаем:

$$\Delta Q = 24 \cdot 3600z (Q_5 - Q_{\text{ср}}),$$

где $Q_{\text{ср}}$ — фактическая теплотребность здания при среднем значении наружной температуры в данных условиях, т. е. при $t_{n,\text{ср}} = (8 + 5)/2 = +6.5^\circ\text{C}$. Она равна действительным теплотерям за вычетом теплопоступлений, и в работе [8] была оценена величиной 10455 Вт (W), откуда имеем:

$\Delta Q = 24 \cdot 3600 \cdot 27(36501 - 10455) = 60.8 \cdot 10^9 \text{ Дж (J)}$, или около 14.5 Гкал (Gcal). По действующим тарифам ПАО «МОЭК» это соответствует примерно 40000 руб. (RUR). Это нижняя граница экономии, поскольку величина $Q_{\text{ср}}$ относится к режиму $t_n = t_{\text{н}}$, а при более высоких значениях наружной температуры окажется еще меньше.

Выводы

Доказано, что с учетом теплоустойчивости ограждающих конструкций суточные колебания расхода отработанной воды после подогревателей ГВС, подмешиваемой к сетевой воде в подающий трубопровод теплосети, существенно не сказываются на стабильности температурного режима жилых зданий и комфортности их внутреннего микроклимата при $t_n = t_{\text{н}}$.

Отмечено, что рассматриваемая схема с точки зрения надежности теплоснабжения основной группы жилых зданий и обеспечения безопасности жизнедеятельности людей не уступает стандартной двухступенчатой схеме присоединения теплообменников ГВС с ограничением суммарного расхода сетевой воды и со связанным регулированием теплоподачи на ГВС, отопление и вентиляцию;

Показано, что в рассматриваемой схеме среднесуточный расход сетевой воды на подогреватели ГВС в течение преобладающей части отопительного периода выше или равен расчетному расходу на нужды отопления и вентиляции, что обеспечивает в соответствующих условиях возможность подмешивания отработанной воды в любой нужной пропорции и одновременно гарантирует гидравлическую устойчивость системы отопления даже при ее зависимом присоединении к тепловой сети.

Список использованных источников

1. Ротов П. В., Орлов М. Е., Шарапов В. И., Сивухин А. А. Повышение эффективности работы централизованных систем теплоснабжения за счет применения теплонасосных установок. Промышленная энергетика 2014; (7): 27–31.
2. Шарапов В. И. О некоторых аспектах технической политики в теплоснабжении. Энергосбережение и водоподготовка 2013; (5): 9–12.
3. Голобородько И. Е., Козлов С. А., Гудко А. Н. Дискуссия: конденсационные котлы и низкотемпературный график в системах отопления. Журнал «СОК» 2016; (1): 26–30.
4. Гавей О. Ф., Панферов В. И. Разработка алгоритма управления системами теплоснабжения при снижении температуры теплоносителя. Сб. докл. VI международной научно-технической конференции «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции». – М.: НИУ МГСУ 2015; 264–268.
5. Rafalskaya T. A. Reliability and controllability of systems of centralized heat supply // Eastern European Scientific Journal 2016; (2): 228–235.
6. De Rosa M., Bianco V., Scarpa F., Tagliafico L. A. Modelling of energy consumption in buildings: an assessment of static and dynamic models. Russian Journal of Construction Science and Technology 2016; 1(2): 12–24.
7. Paiho S., Abdurafikov R., Hoang H. Cost analyses of energy-efficient renovations of a Moscow residential district. Sustainable Cities and Society 2015; 1(14): 5–15.
8. Самарин О. Д. Надежное и безопасное теплоснабжение жи-

ных зданий в переходных климатических условиях. Надежность и безопасность энергетики 2018; 2(11): 149–153.

9. Самарин О. Д. Надежное и безопасное теплоснабжение жилых зданий с использованием отработанной воды после подогревателей горячего водоснабжения. Надежность и безопасность энергетики 2019; 2(12): 120–125.

10. Хрусталева Б. М., Кувшинов Ю. Я., Копко В. М. Теплоснабжение и вентиляция. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во АСВ 2010; 784.

11. СП 131.13330.2012 «Актуализированная редакция СНиП 23-01-99* "Строительная климатология"». – М.: Минрегион РФ 2012; 109.

12. СП 30.13330.2012 «Актуализированная редакция СНиП 2.04.01-85 "Внутренний водопровод и канализация зданий"». – М.: Минрегион РФ 2012; 68.

13. СП 50.13330.2012 «Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 "Тепловая защита зданий"». – М.: Минрегион РФ 2012; 96.

14. Богословский В. Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха). – 3-е изд. – С-Пб.: Изд-во «АВОК СЕВЕРО-ЗАПАД» 2006; 400.

15. ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях». – М.: Росстандарт 2011; 11.

16. Самарин О. Д. Расчет остывания помещений здания в аварийных режимах для обеспечения надежности их теплоснабжения. Вестник МГСУ 2019; 4(14): 311–316.

17. Строительная климатология. Справочное пособие к СНиП 23-01-99*. Под ред. Савина В. К. – М.: НИИСК 2006; 258.

References

1. Rotov P. V., Orlov M. E., Sharapov V. I., Sivukhin A. A. The increase of efficiency of operation of centralized heat supply systems by using heat pump units. Industrial power-engineering 2014; (7): 27–31. (In Russ.)

2. Sharapov V. I. On some aspects of the technical policy in the heat supply. Energy saving and water treatment 2013; (5): 9–12. (In Russ.)

3. I. E. Goloborod'ko, S. A. Kozlov, A. N. Gudko. Discussion: sweating boilers and low-temperature schedule in heating systems. Sanitary engineering. Heating. Air conditioning 2016; (1): 26–30. (In Russ.)

4. Gavey O. F., Panferov V. I. The development of control algorithms for heat supply systems with the heat transfer agent temperature changes. Proceedings of the VI International Science and Technical Conference «Theoretical foundations of heat and gas supply and ventilation». – Moscow: NR MSUCE 2015; 264–268. (In Russ.)

5. Rafalskaya T. A. Reliability and controllability of systems of centralized heat supply // Eastern European Scientific Journal 2016; (2): 228–235.

6. De Rosa M., Bianco V., Scarpa F., Tagliafico L. A. Modelling of energy consumption in buildings: an assessment of static and dynamic models. Russian Journal of Construction Science and Technology 2016; 1(2): 12–24.

7. Paiho S., Abdurafikov R., Hoang H. Cost analyses of energy-efficient renovations of a Moscow residential district. Sustainable Cities and Society 2015; 1(14): 5–15.

8. Samarin O. D. The secure and safe heat supply of residential buildings during the transitive climatic conditions. Safety and Reliability of Power Industry 2018; 2(11): 149–153. (In Russ.)

9. Samarin O. D. The secure and safe heat supply of residential buildings using the waste water after the heat exchangers for hot water supply. Safety and Reliability of Power Industry 2019; 2(12): 120–125. (In Russ.)

10. Khrustalev B. M., Kuvshinov Yu. Ya., Kopko V. M. Heat supply and ventilation. The 3rd ed., rev. and suppl. Moscow: ASV Publishers 2010; 784. (In Russ.)

11. SP (Set of Rules) 131.13330.2012 «Actualized edition of SNiP (Building Code) 23-01-99* "Building climatology"». – Moscow: Minregion RF 2012; 109. (In Russ.)

12. SP (Set of Rules) 30.13330.2012 «Actualized edition of SNiP (Building Code) 2.04.01-85 "Domestic water supply and drainage systems in buildings"». – Moscow: Minregion RF 2012; 68.

13. SP (Set of Rules) 50.13330.2012 «Actualized edition of SNiP (Building Code) 23-02-2003 "Thermal performance of the buildings"». – Moscow: Minregion RF 2012; 96. (In Russ.)

14. Bogoslovsky V. N. Building thermal physics (the thermal physical foundations of heating, ventilation and air condition) – 3th ed. – St.-Petersbourg.: AVOK-Severo-Zapad Publishers 2006; 400. (In Russ.)

15. GOST (National Standard of Russian Federation) 30494-2011 «Residential and public buildings. Microclimate parameters for indoor enclosures». – Moscow: Rosstandart; 2011; 11. (In Russ.)

16. Samarin O. D. The calculation of building cooling under emergency conditions to ensure their heating reliability. Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering 2019; 4(14): 311–316. (In Russ.)

17. Building climatology. Reference book to SNiP (Buildings rules and regulations) 23-01-99*. Under ed. of Savin V. K. – Moscow: NIISF 2006; 258.

