<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2019-12-2-120-125>
УДК 697.1:699.86

Надежное и безопасное теплоснабжение жилых зданий с использованием отработанной воды после подогревателей горячего водоснабжения

Самарин О. Д.

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

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

Поступила / Received 25.01.2019

Принята к печати / Accepted for publication 24.04.2019

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. Проанализированы основные уравнения, описывающие зависимость температуры воды в подающей магистрали от температуры наружного воздуха, и выполнен обзор возможных способов регулирования теплоподдачи и предотвращения «перетоков» вблизи начала и конца отопительного периода с учетом требований действующих нормативных документов Российской Федерации. Проведены расчеты, позволяющие определить требуемую долю в смеси для расхода воды после подогревателей ГВС в условиях применения рассматриваемой схемы присоединения зданий к теплосети. Дан анализ полученных результатов и сделаны выводы относительно целесообразности применения рассматриваемой схемы. Установлено, что с энергетической точки зрения подмешивание воды после подогревателей ГВС в рассчитанном количестве позволит обеспечить надежность теплоснабжения основной группы жилых зданий и безопасность жизнедеятельности людей при высоких температурах наружного воздуха. Показано, что при этом значение доли воды в смеси тем больше, чем выше текущая наружная температура, причем соответствующая зависимость близка к линейной, а ее числовые коэффициенты связаны только с расчетной температурой наружного воздуха в районе строительства для холодного периода года. Отмечено, что внедрение предлагаемой схемы возможно с минимальной реконструкцией существующих узлов и сооружений без значительных капитальных затрат, а также дает общесистемный эффект в виде повышения выработки электроэнергии в ТЭЦ на тепловом потреблении.

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

Благодарности

Результаты, 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

For citation:

Samarin O. D. [Reliable and safe heat supply of residential buildings using wastewater after heaters for hot water supply]. *Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Safety and Reliability of Power Industry*. 2019, vol. 12, no. 2, pp. 120 – 125. (in Russian)

<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2019-12-2-120-125>

Для цитирования:

Самарин О. Д. Надежное и безопасное теплоснабжение жилых зданий с использованием отработанной воды после подогревателей горячего водоснабжения. *Надежность и безопасность энергетики*. 2019. – Т. 12, №2. – С. 120 – 125.

<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2019-12-2-120-125>

Reliable and safe heat supply of residential buildings using wastewater after heaters for hot water supply

O. D. Samarin

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 is considered, providing reliability of heat supply and the necessary comfort in the premises due to mixing in some of wastewater after hot water supply (DHW) heaters at an outdoor temperature exceeding the break point of the temperature graph. The main equations describing the dependence of the water temperature in the supply line on the outside air temperature are analyzed, and a review of possible ways of regulating the heat supply and preventing "overflows" near the beginning and the end of the heating period is carried out, taking into account the requirements of the current regulatory documents of the Russian Federation. Calculations are made to determine the required proportion in the mixture for water consumption after the heaters of hot water supply in the conditions of the application of the scheme of connection of buildings to the heating network. The analysis of obtained results is given, and conclusions are drawn concerning expediency of application of the considered scheme. It is established that, from the power point of view, mixing of wastewater after heaters of DHW in the calculated quantity will allow to provide reliability of heat supply of the main group of residential buildings and safety of activity of people at high temperatures of outside air. It is shown that, at the same time, that the higher the current outdoor temperature, the greater the share of wastewater in the mixture, with the above dependence close to linear, and its numerical coefficients associated only with the calculated outdoor temperature in the construction area for the cold season. It is noted that the introduction of the proposed scheme is possible with a minimum reconstruction of existing units and structures without significant capital costs, and also gives a system-wide effect in the form of increased electricity generation in thermal power plants on thermal consumption.

KEYWORDS: heat supply, break point, temperature, wastewater, heat exchanger, hot water supply

Acknowledgments

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

Введение и обзор литературы

Для обеспечения соответствия теплоподдачи в здании величине его текущей теплопотребности в течение отопительного периода при постоянном расходе воды в теплосети, как правило, используется изменение температур сетевой воды T_1 и T_2 , °C, в прямом и обратном теплопроводах по графику зависимости от температуры наружного воздуха $t_{нр}$, °C. В то же время для обеспечения нужд горячего водоснабжения (ГВС) осуществляется так называемый «излом» температурного графика. Следовательно, в точке излома $t_{из}$ температура воды в прямом теплопроводе по определению $T_{1,из} = +70^\circ\text{C}$, и ниже быть уже не может. Соответственно, и $T_{2,из}$ — температура воды в обратной магистрали в этих же условиях — при более высоких $t_{нр}$ тоже не будет меняться. Но тогда при $t_{нр} > t_{из}$ действительные значения T_1 и T_2 будут выше, чем требовались бы по графику, и, если не применять специальных мер, будет иметь место избыточная подача теплоты в здания, приводящая к повышению $t_{в}$ сверх допустимой по условиям безопасности жизнедеятельности и соответствующему дискомфорту, сопровождающемуся бесполезными потерями энергии — так называемому «перетопу».

Для предотвращения этого явления предлагались различные способы, в том числе подмешивание отра-

ботанной 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 рассматриваться 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.

Однако в жилых зданиях можно воспользоваться и обратной водой после теплообменников ГВС, которая в рассматриваемых условиях имеет температуру, равную $T_{2,из}$. Предлагаемая схема наиболее целесообразна именно для жилых зданий в силу значительной доли ГВС в их общем энергетическом балансе, так что расход воды из теплосети на нужды ГВС оказывается в среднем сопоставимым с расходом на обеспечение отопления и вентиляции. Особенно эффективным будет такое решение при зависимом присоединении местной системы

отопления со смесительным насосом. Последняя версия СП 60.13330.2016 «Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003 "Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха"» допускает такую схему: «Присоединение систем внутреннего теплоснабжения зданий к тепловым сетям по зависимой схеме ... строящихся или реконструируемых отдельных зданий (внутри сложившейся застройки с общим для группы зданий тепловым пунктом) необходимо предусматривать через автоматизированный насосный узел смешения» (п.6.1.2). Дело в том, что, помимо решения задачи непосредственно по предотвращению «перетоков», схема с использованием 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 было рассмотрено в [8]. Поскольку такая схема в первую очередь предназначена именно для реконструкции существующих узлов ввода теплоты внутри сложившейся застройки, что прямо относится к области действия приведенной нормы п.6.1.2 СП 60, с целью повышения надежности и безопасности теплоснабжения зданий и максимального энергосбережения, целесообразно полностью использовать дополнительный полезный эффект от ее реализации и в пределах отопительного периода, который, как будет показано ниже, также позволяет ликвидировать «перетоки» и тем самым одновременно упростить регулирование смесительного насоса для системы отопления.

Схема подключения теплообменника и переключения потоков воды для случая параллельного (независимого) регулирования подачи теплоты на отопление и ГВС показана на рисунке 1. Здесь t_r и t_x — температуры нагретой воды в водоразборном трубопроводе системы ГВС и исходной воды из холодного водопровода, ТЕ и ТС — соответственно датчик и регулятор температуры, ФЕ 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 ТС поступает непосредственно на привод ДН, который выполняет также одновременно функцию

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

дополнительного регулятора расхода. Данное оборудование может быть установлено непосредственно в тепловом пункте и подключаться независимо от централизованного включения и отключения подачи теплоты на отопление с учетом того, что ГВС функционирует круглогодично.

Заметим, что в рассматриваемой схеме на входе в систему отопления поддерживается требуемая по графику температура T_1 , соответственно на выходе будет температура T_2 . В то же время в тепловую сеть после подмешивания остатка из подогревателей ГВС, имеющего температуру $T_{2,п}$, будет возвращаться вода с некоторой промежуточной температурой $T_2' < T_{2,п}$.

Таким образом, как легко убедиться, можно избежать и превышения величины T_2 над необходимым значением при текущей t_n и тем самым получить общесистемный эффект по увеличению выработки электроэнергии в ТЭЦ на тепловом потреблении.

Постановка задачи и методы решения

Рассмотрим, в какой пропорции необходимо добавлять воду после подогревателей ГВС к сетевой воде из подающего трубопровода тепловой сети, чтобы поддерживать требуемую по отопительному графику температуру T_1 в условиях $t_n > t_{n,изл}$.

Уравнение такого графика обычно записывается в следующем виде [9]:

$$T_1 = t_B + 0.5 \cdot \Delta t_{сис\tau} \cdot \delta t + (T_{ср} - t_B) \cdot \delta t^{\frac{1}{n+1}}. \quad (1)$$

Здесь t_B — температура внутреннего воздуха в помещениях здания, °С;

$$\delta t = \frac{t_B - t_n}{(t_B - t_n)_{расч}} \quad \text{— текущая безразмерная относительная разность температур;}$$

$$T_{ср} = \frac{(T_1 + T_2)_{расч}}{2} \quad \text{— средняя расчетная температура воды в тепловой сети, °С;}$$

$$\Delta t_{сис\tau} = (T_1 - T_2)_{расч} \quad \text{— расчетная разность температур воды в системе отопления, °С;}$$

n — показатель степени, характеризующий изменение коэффициента теплопередачи отопительных приборов при колебаниях температурного напора, в среднем около $1/4$ [9]. При этом за расчетные условия в (1) выбирается режим, соответствующий наиболее холодной пятидневке с обеспеченностью 0.92, т. е. с наружной температурой $t_{н5}$ по СП 131.13330.2012 «Актуализированная редакция СНиП 23-01-99 "Строительная климатология"». В этих условиях, как правило, $T_1 = 150^\circ\text{C}$, $T_2 = 70^\circ\text{C}$ [9], а величина $t_{в}$ для жилых зданий принимается в размере $+20^\circ\text{C}$ по ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях».

Поскольку, в отличие от случая, когда подмешивание происходит из обратного трубопровода после системы отопления, в данном режиме $T_{2.и} = \text{const}$, так как среднесуточный расход теплоты на ГВС от наружной температуры практически не зависит. Здесь можно записать простейшее балансовое уравнение:

$$T_1 = T_{2.и}x + T_{1.и}(1 - x), \text{ откуда } x = \frac{T_{1.и} - T_1}{T_{1.и} - T_{2.и}}, \quad (2)$$

где x — доля воды после теплообменников ГВС в общей смеси. При этом предполагается, что суммарный расход после смешения остается равным $G_{ов}$ — расчетному расходу сетевой воды на нужды отопления и вентиляции для условий наиболее холодной пятидневки.

Заметим, что в формулу для x практически никакие конкретные характеристики здания не входят, а присутствует только косвенным образом величина $t_{н}$ и ее расчетный уровень $t_{н5}$, которые используются для вычисления текущего значения T_1 . Если теперь воспользоваться исходным уравнением для температурного графика (1), которое позволяет вычислить T_1 при произвольной $t_{н}$, то, подставляя результат в соотношение для x (2) с учетом реально используемых значений других параметров, получаем:

$$x = \frac{70 - 20 - 0.5 \cdot 80 \cdot \delta t - (110 - 20) \cdot \delta t^{0.8}}{70 - 43.5}, \quad (3)$$

или, учитывая, что в рассматриваемом диапазоне δt можно с достаточной точностью записать приближенное соотношение $\delta t^{0.8} \approx 1.3\delta t$, окончательно находим:

$$x = 1.89 - 5.93 \frac{20 - t_{н}}{20 - t_{н5}}. \quad (4)$$

Следовательно, полученный результат имеет весьма общий характер, и для любого района строительства можно записать: $x = At_{н} - B$, где коэффициенты A и B должны определяться в зависимости от $t_{н5}$.

Результаты анализа

Для выявления реального энергетического потенциала воды после теплообменников ГВС в тепловых пунктах зданий найдем сначала величину водопотребления на ГВС. В силу теплоинерционности ограждающих

конструкций достаточно учитывать только среднесуточные значения, без учета часовой неравномерности. Для здания, приведенного в качестве примера в [10], $G_{ГВ.ср} = 242 \cdot 0.1 \cdot 1000 = 24200$ кг/сут. Поэтому требуемый среднесуточный расход сетевой воды на подогреватели ГВС будет равен:

$$G_{ГВ.тс} = \frac{1.1 G_{ГВ.ср} (t_{г} - t_{х})}{(T_{1.и} - T_{2.и}) \cdot 86400} =$$

$$= \frac{1.1 \cdot 24200 \cdot (60 - 5)}{(70 - 43.5) \cdot 86400} = 0.64 \text{ кг/с.}$$

Здесь $T_{1.и} = +70^\circ\text{C}$ и $T_{2.и} = +43.5^\circ\text{C}$; $t_{г} = +60^\circ\text{C}$ и $t_{х} = +5^\circ\text{C}$ [9]; 86400 — число секунд в сутках, 1.1 — балансовый коэффициент. На самом деле величина $T_{2.и}$ незначительно зависит от особенностей применяемых отопительных приборов и расчетного значения $t_{н5}$, т. е., в конечном счете, от кривизны температурного графика, но несложно убедиться, что расхождения не будут превышать $1-2^\circ\text{C}$, что, с учетом неизбежных погрешностей расчета и неточности исходных данных, является совершенно не существенным, зато условие $T_{2.и} = \text{const}$ позволяет существенно упростить получаемые формулы и выводы.

Вычислим теперь величину $G_{ов}$:

$$G_{ов} = \frac{Q_{сум}}{c_w(T_1 - T_2)} = \frac{183884}{4190 \cdot (150 - 70)} = 0.55 \text{ кг/с.}$$

Здесь $c_w = 4190$ Дж/(кг·К) — удельная теплоемкость воды; $T_1 = +150^\circ\text{C}$ и $T_2 = +70^\circ\text{C}$ — соответственно температуры в подающем и обратном трубопроводах теплосети в расчетном зимнем режиме, $Q_{сум} = 183884$ Вт — суммарная тепловая нагрузка на нужды отопления и вентиляции здания [10]. Следовательно, $G_{ов} < G_{ГВ.тс}^{ср}$, поэтому количества отработанной сетевой воды после теплообменников ГВС будет достаточно для смешения в любой пропорции с водой, предназначенной для обеспечения тепловой нагрузки на отопление и вентиляцию. Таким образом, в предлагаемой схеме дополнительный насос ДН с точки зрения регулирования по сути выполняет функцию смесительного насоса, устанавливаемого на перемычке между подающим и обратным трубопроводами тепловой сети перед системой отопления. Тогда за смесительным насосом остается лишь поддержание среднего значения температуры горячей воды в системе отопления при практически постоянном коэффициенте подмешивания, и только при необходимости его дополнительная корректировка в случае, например, колебаний водоразбора, не компенсированных работой ДН.

В условиях рассматриваемого примера зависимость x от $t_{н}$ непосредственно по уравнению (2) можно изобразить в виде сплошной линии на рисунке 2. Легко видеть, что она очень хорошо аппроксимируется линейным выражением $x = 0.113t_{н} - 0.59$. Во всяком случае, можно показать, что отклонение соответствующей линии тренда от показанной кривой лежит в пределах

толщины линии. В то же время уравнение (4) для климатических условий Москвы, т. е. при $t_{н5} = -25^\circ\text{C}$, приводится к виду $x = 0.131t_n - 0.74$. Здесь числовые коэффициенты несколько отличаются от полученных выше непосредственным расчетом, однако рисунок 2, где график последней зависимости изображен пунктиром, показывает, что расхождение лежит в пределах погрешности инженерных вычислений, т. е. 5 – 10%.

Случай, если смесительный насос вообще не используется, и снижение температуры T_1 до допустимой в системе отопления $t_{г.от}$ (в расчетном режиме обычно $+95^\circ\text{C}$) и при $t_n < t_{и}$ осуществляется исключительно за счет подмешивания обратной воды после подогревателей ГВС, здесь не рассматривается, поскольку по своему физическому смыслу такое подмешивание преследует в качестве основной цели именно энергосбережение за счет использования «бросовой» теплоты и возможность обеспечения отопления в случае резких похолоданий за пределами официального отопительного сезона, а также в качестве дополнительного полезного эффекта ликвидацию «перетоков» в его начале и конце и повышение эффективности ТЭЦ. Очевидно, что с понижением t_n в силу уравнения (1) разность $T_1 - T_2 = \Delta t_{сист} \delta t$ будет расти, а, следовательно, величина $G_{гв.тс}^{cp}$ станет уменьшаться, и, как показывают расчеты, начиная примерно с $t_n = -5^\circ\text{C}$ (при $t_{н5} = -25^\circ$) отношение $G_{гв.тс}^{cp} / G_{об}$ окажется меньше, чем необходимая величина x из выражений (3) – (4). Именно поэтому, как уже отмечалось, предлагаемая схема предназначена для дополнения к насосному смешению при разделении их функций в различные периоды года, а именно, перенос автоматического регулирования на ДН с постоянным коэффициентом подмешивания у смесительного насоса при $t_n < t_{и}$ и функционирование только ДН в условиях $t_n > t_{и}$, в том числе в летний период. Более подробный анализ соответствующих режимов предполагается в следующих статьях. При

этом рассматриваемая схема имеет основное преимущество в том, что она позволяет круглогодично обеспечить надежное, бесперебойное и безопасное теплоснабжение потребителя, в том числе на нужды отопления и даже при необходимости в летний период, с одновременным общесистемным эффектом за счет снижения температуры обратной сетевой воды на входе в ТЭЦ. При этом по сравнению с обычной схемой с регулируемым смесительным насосом не требуются дополнительные капитальные затраты и усложнение автоматического регулирования.

В то же время в часы минимального водоразбора (например, ночью) величина $G_{гв.тс}$ оказывается ниже средней. Тогда, если требуемая по (3) – (4) доля расхода воды после подогревателей ГВС, предназначенная для подмешивания и отнесенная к среднесуточному $G_{гв.тс}^{cp}$, окажется ниже текущего отношения $G_{гв.тс} / G_{гв.тс}^{cp}$, мы станем получать завышенный по сравнению с необходимым уровень T_1 или $t_{г.от}$ с соответствующим увеличением теплоотдачи отопительных приборов. Однако в часы повышенного водопотребления будет наблюдаться обратная картина, и в среднем за сутки должен соблюдаться требуемый тепловой баланс. Возникающие при этом колебания t_b в помещениях будут ограничиваться тепловой инерцией ограждений здания, и, поскольку ситуация в данном случае аналогична существующим схемам присоединения теплообменников ГВС по двухступенчатой зависимой схеме с ограничением суммарного расхода сетевой воды, которые при соответствующих условиях находят свое применение, можно предполагать, что и рассматриваемая схема будет обладать надлежащими качествами. Более детальное исследование этого вопроса предполагается в дальнейших публикациях.

Следует заметить, что использование вторичной теплоты после подогревателей ГВС может показаться на первый взгляд спорным с точки зрения действующего

законодательства, но в данном случае нужно иметь в виду, что эта теплота по физической сути является «бросовой», поэтому в принципе не должна отдельно оплачиваться, более того, как уже отмечалось, снижение температуры возвращаемой воды приведет к росту электрического КПД ТЭЦ, а значит, выгодно поставщику энергии. Особенно это относится к летнему периоду, когда потребление теплоты является минимальным. В то же время даже при необходимости подобной оплаты технических препятствий на этом пути нет, в частности, возможно включение расходов за фактически потребленную энергию за пределами официального отопительного сезона в счет за ГВС.

Выводы

– Показано, что с энергетической

Рисунок 2. Зависимость доли отработанной воды после теплообменников ГВС (x) в смеси от t_n

Figure 2. Dependence of the proportion of waste water after heat exchangers DHW (x) in the mixture from t_n

точки зрения подмешивание отработанной воды после подогревателей ГВС в количестве, определенном в настоящей статье, позволит обеспечить надежность теплоснабжения основной группы жилых зданий и безопасность жизнедеятельности людей при $t_n > t_{изл}$;

– Отмечено, что в рассматриваемой схеме среднесуточный расход сетевой воды на подогреватели ГВС при $t_n > t_{изл}$, как правило, выше расчетного расхода на нужды отопления и вентиляции в течение отопительного периода, что обеспечивает возможность подмешивания отработанной воды в любой нужной пропорции и одновременно гарантирует гидравлическую устойчивость системы отопления даже при ее зависимо-м присоединении к тепловой сети;

– Внедрение предлагаемой схемы возможно с минимальной реконструкцией существующих узлов и сооружений без значительных капитальных затрат, а также дает общесистемный эффект в виде повышения выработки электроэнергии в ТЭЦ на тепловом потреблении.

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. Friess W. A., Rakhshan K., Hendawi T. A., Tajerzadeh S. Wall insulation measures for residential villas in Dubai: A case study in energy efficiency. Energy and Buildings 2012; (44): 26–32.
6. Hani Allan, Koiv Teet-Andrus. Energy Consumption Monitoring Analysis for Residential, Educational and Public Buildings. Smart Grid and Renewable Energy 2012; (3): 231–238.
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 жилых зданий в переходных климатических условиях. Надежность и безопасность энергетики 2018; 2(11): 149–153.

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

10. Самарин О. Д. Надежная и безопасная схема регулирования теплоснабжения жилых зданий. Надежность и безопасность энергетики 2017; 2(10): 150–153.

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. Friess W. A., Rakhshan K., Hendawi T. A., Tajerzadeh S. Wall insulation measures for residential villas in Dubai: A case study in energy efficiency. Energy and Buildings 2012; (44): 26–32.
6. Hani Allan, Koiv Teet-Andrus. Energy Consumption Monitoring Analysis for Residential, Educational and Public Buildings. Smart Grid and Renewable Energy 2012; (3): 231–238.
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. Khrustalev B. M., Kuvshinov Yu. Ya., Kopko V. M. Heat supply and ventilation. The 3rd ed., rev. and suppl. Moscow: ASV Publishers 2010; 784.
10. Samarin O. D. The secure and safe scheme of heat supply control in residential buildings. Safety and Reliability of Power Industry 2017; 2(10): 150–153.