

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ИССЛЕДОВАНИЯ, РАСЧЕТЫ

<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2021-14-1-27-33>

УДК 697.1:699.86

# Надежное и безопасное теплоснабжение жилых зданий в переходных условиях при независимом присоединении системы отопления

**Самарин О. Д.**

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ)  
Ярославское ш. 26, 129337, г. Москва, Россия

Поступила / Received 14.12.2020

Принята к печати / Accepted for publication 25.02.2021

Рассмотрена схема теплоснабжения жилых зданий с независимым присоединением к наружным теплосетям, обеспечивающая надежность теплоподдачи и необходимую комфортность в помещениях в условиях похолоданий после официального окончания отопительного сезона или до его начала за счет поддачи воды из обратной магистрали теплосети после теплообменников горячего водоснабжения (ГВС). Проведены расчеты, позволяющие определить величину основных составляющих теплового баланса жилого здания на примере одного из используемых в настоящее время типовых проектов в климатических условиях Москвы с учетом конструктивных характеристик здания и уровня его заселенности. Установлено, что фактическая теплоотдача системы отопления при использовании в качестве источника теплоты охлажденной сетевой воды после ГВС позволяет поддерживать внутреннюю температуру в здании, требуемую для безопасной жизнедеятельности, при среднесуточной температуре наружного воздуха выше +2°C в условиях средних теплопоступлений от солнечной радиации. Доказано, 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. Отмечено, что при этом для обеспечения надежности теплоснабжения основной группы жилых зданий и 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. Показано, что применение рассматриваемой схемы практически не сопровождается дополнительными затратами, обеспечивает гидравлическую устойчивость системы отопления и дает общесистемный эффект в виде повышения выработки электроэнергии на тепловом потреблении при использовании когенерации.

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

### Благодарности

Результаты работы, представленные в статье, получены в ходе выполнения НИР для патента РФ (правообладатель НИУ МГСУ, автор О. Д. Самарин) «Конструкция индивидуального теплового пункта при независимом присоединении местной системы отопления» № 2741188 от 22.01.21 (приоритет изобретения 11.09.20).

### 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 in transitional conditions with independent connection of the heating system]. *Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Safety and Reliability of Power Industry*. 2021. vol. 14, no. 1, pp. 27–33 (in Russian).  
<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2021-14-1-27-33>

### Для цитирования:

Самарин О. Д. Надежное и безопасное теплоснабжение жилых зданий в переходных условиях при независимом присоединении системы отопления. *Надежность и безопасность энергетики*. 2021. Т. 14, №1. – С. 27–33.  
<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2021-14-1-27-33>

# Reliable and safe heat supply of residential buildings in transitional conditions with independent connection of the heating system

**O. D. Samarin**

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

The arrangement for heat supply of residential buildings with indirect connection to external heating systems is considered, providing reliability of heat input and required comfort in case of cold snaps after the official end of the heating season or before its beginning by supplying water from the return main of the heating system downstream the hot water supply heat exchangers. The calculations have been made to determine the amount of the main components of heat balance of a residential building on an example of one of standard projects being currently used in the climatic conditions of Moscow, subject to the structural characteristics of the building and its occupancy level. It is established that the actual heat output of the heating system when using the system of chilled water downstream the hot water supply heat exchangers as a heat source enables to maintain an indoor temperature required for safe living conditions with the average daily outdoor air temperature above +2°C, the heat gain from solar radiation being moderate. It is proven that, taking into account the thermal stability of the enclosing structures, the daily flow rate fluctuations do not significantly affect the stability of the temperature conditions of residential buildings or the comfort of their indoor microclimate at high outdoor air temperatures. It is noted that, in terms of reliability of heat supply of the main group of residential buildings and ensuring the life safety, the proposed arrangement is not inferior to the standard two-stage arrangement of connection of DHW heat exchangers with restriction of the total consumption of delivery water and with the associated regulation of heat supply for DHW, heating and ventilation. It is shown that the use of this arrangement involves virtually no extra costs, provides hydraulic resistance of the heating system and ensures a system-wide effect in the form of higher electricity generation at thermal consumption when using cogeneration.

KEYWORDS: heat input, break point, temperature, wastewater, heat exchanger, heat 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, author: O.D. Samarin) "Construction of individual heat point with independent connection of the local heating system" № 2741188 dated 22.01.21 (priority of invention 11.09.20).

## Введение и обзор литературы

Обеспечение надежности и безопасности теплоснабжения, в первую очередь для жилых зданий как объектов с постоянным пребыванием людей, в сочетании с поддержанием необходимого уровня комфортности параметров внутреннего микроклимата в помещениях является первоочередной задачей в соответствии с требованиями Федерального закона № 384-ФЗ «Технический регламент "О безопасности зданий и сооружений"». Одновременно следует добиваться максимально возможного энергосбережения, в том числе за счет регулирования и управления теплоснабжением и сокращения бесполезных теплопотерь. Это особенно актуально в настоящее время, в условиях действия Закона РФ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» №261-ФЗ. Поэтому недопустимы как недостаточная, так и избыточная теплоподача в помещения здания.

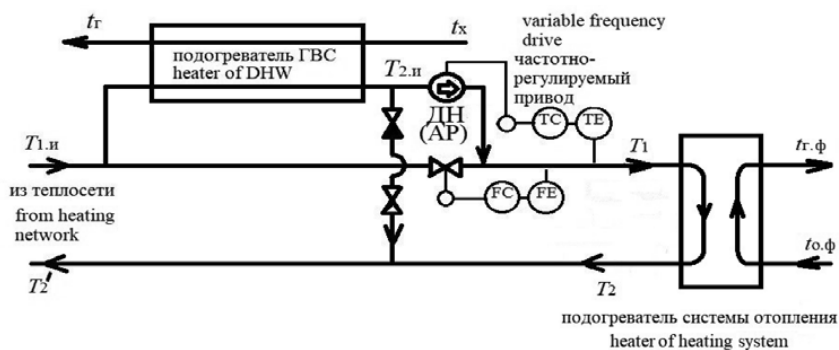
В течение холодного периода года рассматриваемая проблема решается путем регулирования температуры теплоносителя на источнике теплоты по соот-

ветствующему графику температуры в зависимости от текущих погодных условий. Дополнительные меры по совершенствованию такого регулирования предлагались в последнее время рядом авторов, как отечественных, так и зарубежных [1–7]. Но основные сложности в этом случае возникают в переходных условиях, вблизи момента начала и окончания отопительного сезона. В [8] исследовался вопрос об имеющем место в ряде случаев слишком позднем прекращении либо раннем начале теплоподдачи, что бывает не обоснованным с точки зрения фактических наружных температур и приводит к сопутствующему перерасходу тепловой энергии. Однако нельзя не признать, что в ряде случаев опасения, связанные с нестабильностью климатических параметров и возможностью резкого похолодания могут быть оправданными, даже несмотря на происходящее потепление климата в целом, что подтвердилось в Москве в мае 2017 г., начале июня 2018 г., а также в конце июля и начале августа 2019 г. Тем не менее, следует иметь в виду, что даже в летний период подавляющее большинство жилых многоквартирных зданий продолжает централизованно снабжаться теплотой на нужды ГВС, которое занимает в энергетическом балансе весьма значительную величину — около 1/4 [9].

## Постановка задачи и методы решения

В [9] было показано, как можно использовать остаточную теплоту охлажденной сетевой воды после теплообменников ГВС для обеспечения отопления зданий после окончания официального отопительного сезона в случае такой необходимости. Заметим при этом, что данный источник, по сути, является «даровым» и, более того, повышает эффективность ТЭЦ, увеличивая выработку электроэнергии на тепловом потреблении. Однако предложенная схема была рассчитана на случай зависимого присоединения системы отопления жилого здания к наружной тепловой сети, что до недавнего времени представляло собой наиболее распространенный вариант, но в соответствии с последними изменениями нормативной базы в области строительства сейчас допускается только при реконструкции существующих объектов, но не при новом строительстве ([10], п.6.1.2). Поэтому была разработана новая схема, предназначенная для тепловых пунктов с независимым присоединением системы отопления через водоподогреватель, изображенная на рисунке (1).

Как и в варианте, рассмотренном в [9], здесь  $t_r$  и  $t_x$  — температуры нагретой воды в водоразборном трубопроводе системы ГВС и исходной воды из холодного водопровода,  $T_{1.н}$  — температура воды в подающей магистрали тепловой сети для «точки излома» температурного графика, поддерживаемая при высоких температурах наружного воздуха, близких к граничной для отопительного периода, исходя из обеспечения нужд ГВС,  $t_{r.ф}$  и  $t_{2оф}$ , °С — фактические температуры воды в подающей и обратной магистрали системы отопления в рассматриваемом режиме, ТЕ и ТС — соответственно датчик и регулятор температуры, ФЕ и ФС — датчик и регулятор расхода, как правило, объединенные в конструкции регулятора прямого действия, ДН — дополнительный насос с частотно-регулируемым приводом на ответвлении от трубопровода отработанной воды после теплообменника ГВС (AP, additional pump). Как и в [9], здесь 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  $T_{2.н}$  для «точки излома» температурного графика, будет возвращаться вода с некоторой промежуточной



**Рисунок 1.** Схема использования отработанной воды после подогревателей ГВС для предотвращения «перетоков» в системе отопления при независимом присоединении системы отопления к теплосети

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

температурой  $T_2' < T_{2.н}$ . Различие с ранее предложенной схемой заключается в том, что отработанная вода после подогревателя ГВС подается не непосредственно в систему отопления, а в водоподогреватель. Разумеется, при этом происходит некоторая дополнительная потеря температурного потенциала, но ниже будет показано, что остаточной теплоты, тем не менее, оказывается достаточно для дополнительного отопления зданий в случае резких похолоданий за пределами отопительного периода.

Рассмотрим данную задачу на примере одного из жилых зданий, характеристики которых были приведены в [11]. Определим вначале составляющие его энергетического баланса в соответствии с требованиями и методикой расчетов, приведенными в [12] с Изменением №1 от 14.12.2018. Основные показатели оболочки здания приведены в таблице 1. Здесь  $A_i$  — площади наружных ограждений и  $V_{от}$  — отапливаемый объем здания, принимаемые по строительным чертежам;  $R_i$  — сопротивления ограждающих конструкций теплопередаче,

**Таблица 1.** Теплотехнические показатели ограждений здания

**Table 1.** Thermal indexes of building enclosures

Ограждение Enclosure	$A_i, \text{m}^2 (\text{m}^2)$	$R_i, \text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{Вт} (\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W})$	$n_i$	$A_i n_i / R_i, \text{Вт} / \text{K} (\text{W} / \text{K})$	$V_{от}, \text{м}^3 (\text{m}^3)$	$k_{об} = \frac{\sum \frac{A_i n_i}{R_i}}{V_{от}}$ Specific thermal performance of a building
Наружная стена External wall	5389	2.99	1	1802	18854	0.194
Бесчердачное покрытие Heartless coating	759	4.47	1	170		
Пол над подвалом Floor above the basement	759	3.94	0.6	116		
Окна Windows	$\sum A_{ок} = 1043$	0.66	1	1580		
Сумма Sum	$A_{н}^{сум} = 7950$	–	–	3668		

выбираемые соответствующими базовым значениям по таблице 3 [12] при значении градусо-суток отопительного периода для жилого здания в Москве ГСОП = 4551 К·сут с учетом данных [13] при расчетной температуре внутреннего воздуха  $t_b = +20^\circ\text{C}$  по требованиям [143];  $n_i$  — коэффициент положения ограждения по отношению к наружному воздуху по [12];  $k_{об}$  — удельная теплозащитная характеристика здания, Вт/(м<sup>3</sup>·К) ((W/(m<sup>3</sup>·K)).

Нормируемую теплозащитную характеристику можно рассчитать по формуле (5.5) СП 50:

$$k_{об}^{тр} = \frac{0.16 + \frac{10}{\sqrt{V_{от}}}}{0.00013 \cdot \text{ГСОП} + 0.61}, \quad (1)$$

для  $V_{от} > 960 \text{ м}^3$ , где  $V_{от}$  — отапливаемый объем здания, откуда в данном случае для  $V_{от} = 18854 \text{ м}^3$  [11] получается  $= 0.194 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К}) = k_{об}$ . Таким образом, требования [12] к теплозащите оболочки здания выполняются, и можно переходить к дальнейшим вычислениям.

## Результаты и анализ

Оценим теперь общие теплозатраты здания на различные нужды и теплопоступления от основных источников. Значения с верхним индексом «2» будут относиться к условиям, соответствующим среднесуточной температуре наружного воздуха  $t_n = +2^\circ\text{C}$ . Такой уровень удобно принять для режима похолодания после официального окончания отопительного сезона, соответствующего  $t_n = +8^\circ\text{C}$ . Параметры без верхнего индекса отвечают расчетным зимним условиям наиболее холодной пятидневки, т. е. для Москвы при  $t_{н5} = -25^\circ$  по данным [13].

Трансмиссионные потери через оболочку здания:

$$Q_{тп}^2 = k_{об} \cdot V_{от} (t_b - 3) = 0.194 \cdot 18854 \cdot (20 - 2) = 65840 \text{ Вт};$$

$$Q_{тп} = k_{об} \cdot V_{от} (t_b - (-25)) = 164595 \text{ Вт}.$$

Теплозатраты на подогрев вентиляционной нормы воздуха  $L_{расч} = 140 \cdot 108 = 15120 \text{ м}^3/\text{ч}$  (м<sup>3</sup>/h) при числе квартир в здании, равном 108, и расходу вытяжного воздуха из кухонь и санузлов каждой квартиры по  $140 \text{ м}^3/\text{ч}$  (м<sup>3</sup>/h) [11]:

$$Q_{вент}^2 = 0.28 L_{расч} \rho_B^{вент} (t_b - 2) k =$$

$$0.28 \cdot 15120 \cdot 1 \cdot 1.3 (20 - 2) \cdot 0.7 = 69346 \text{ Вт (W)};$$

$$Q_{вент} = 0.28 L_{расч} \rho_B^{вент} (t_b - (-25)) k = 173365 \text{ Вт (W)}.$$

Здесь  $c = 1 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$  (kJ/(kg·K) — удельная теплоемкость воздуха;  $\rho_B^{вент}$  — его плотность при соответствующей температуре, кг/м<sup>3</sup> (kg/m<sup>3</sup>);  $k$  — коэффициент учета встречного теплового потока, принимаемый в зависимости от конструкции остекления, т. е. в конечном счете от величины его сопротивления теплопередаче.

Бытовые тепловыделения (условно постоянные в течение отопительного сезона):

$Q_{быт}^2 = Q_{быт} = q_{быт} A_{ж} = 17 \cdot 3695 = 62815 \text{ Вт (W)}$ , где  $A_{ж} = 3696 \text{ м}^2$  (м<sup>2</sup>) — жилая площадь здания [11], при удельных тепловыделениях  $q_{быт} = 17 \text{ Вт}/\text{м}^2$  (W/m<sup>2</sup>) для социальной нормы заселенности по [12].

Теплопоступления от солнечной радиации (только в переходных условиях):

$$Q_{рад}^2 = \Sigma A_{ок} q_{уд} \tau_F k_F = 1043 \cdot 100 \cdot 0.8 \cdot 0.57 = 47561 \text{ Вт (W)}.$$

Здесь  $q_{уд} = 100 \text{ Вт}/\text{м}^2$  (W/m<sup>2</sup>) — осредненные по возможным ориентациям фасадов удельные теплопоступления, при действительных условиях облачности по климатическим данным для Москвы в апреле (для мая значения будут еще выше);  $\tau_F$  и  $k_F$  — коэффициенты относительного проникновения солнечной радиации и затенения переплетами для установленных в здании заполнений светопроемов. В данном случае можно принять  $\tau_F = 0.8$ ;  $k_F = 0.57$ .

Тогда результирующая теплопотребность здания:

$$Q_{сум}^2 = Q_{тп}^2 + Q_{вент}^2 - Q_{быт}^2 - Q_{рад}^2 = 65840 + 69346 - 62815 - 47561 = 24810 \text{ Вт (W)};$$

$$Q_{сум} = Q_{тп} + Q_{вент} - Q_{быт} = 164595 + 173365 - 62815 = 275145 \text{ Вт (W)}.$$

Для выявления энергетического потенциала отработанной сетевой воды после теплообменников ГВС в тепловых пунктах зданий, найдем сначала величину водопотребления на ГВС  $G_w$ , кг/сут. При этом теплоинерционность ограждающих конструкций позволяет учитывать только среднесуточные значения, без учета часовой неравномерности. Для внутренней системы ГВС уровень  $G_w$  оценивается, исходя из числа жителей и удельного объемного расхода  $100 \text{ л}/\text{сут}$  или  $0.1 \text{ м}^3/\text{сут}$  на 1 человека в средние сутки для климатического района Москвы — IIВ по [14]. Тогда для рассматриваемого жилого здания  $G_{гв.ср} = 308 \cdot 0.1 \cdot 1000 = 30800 \text{ кг}/\text{сут}$  (kg/day). Здесь 308 — проектное число жителей в здании, исходя из величины  $A_{ж}$  [11] и социальной нормы заселенности,  $1000 \text{ кг}/\text{м}^3$  — плотность воды. Поэтому требуемый среднесуточный расход сетевой воды на подогреватели ГВС, кг/с (kg/s), будет равен:

$$G_{гв.ср} = \frac{1.1 G_{гв.ср} (t_r - t_x)}{(T_{1.и} - T_{2.и}) \cdot 86400} = \frac{1.1 \cdot 30800 \cdot (60 - 5)}{(70 - 43.8) \cdot 86400} = 0.823. \quad (2)$$

Здесь  $T_{1.и} = +70^\circ$  и  $T_{2.и} = +43.8^\circ$  — соответственно температуры в подающем и обратном трубопроводах теплосети для начала и конца отопительного периода, т. е. в точке излома температурного графика;  $t_r = +60^\circ$  и  $t_x = +5^\circ$  — температуры нагретой воды в водоразборном трубопроводе системы ГВС и исходной воды из холодного водопровода; 86400 — число секунд в сутках, 1.1 — балансовый коэффициент.

Сравним теперь это значение с расчетным расходом сетевой воды на нужды отопления и вентиляции, кг/с (kg/s), для условий наиболее холодной пятидневки:

$$G_{об} = \frac{Q_{сум}}{c_w (T_{1.0} - T_{2.0})} = \frac{275145}{4190 \cdot (150 - 70)} = 0.821. \quad (3)$$

Здесь  $c_w = 4190 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$  (J/(kg·K)) — удельная теплоемкость воды;  $T_{1.0} = +150^\circ$  и  $T_{2.0} = +70^\circ$  — соответственно температуры в подающем и обратном трубопроводах теплосети в расчетном зимнем режиме. Таким образом, величина  $G_{об}$  практически совпадает с  $G_{гв.ср}$ , следовательно, все гидравлические характеристики системы при утилизации отработанной воды после теплообменников ГВС будут сохранены.

Таким образом, регулирование теплосдачи в системе отопления в течение отопительного периода будет осуществляться обычным качественным способом, за счет изменения температуры воды в магистралях теплосети  $T_1$  и  $T_2$ , °С, по отопительному графику в зависимости от текущей величины  $t_n$ . Заметим при этом, что, поскольку в процессе качественного регулирования расходы воды как в контуре теплосети, так и в контуре системы отопления будут постоянными (с учетом использования отработанной воды после ГВС — по крайней мере в среднесуточном масштабе), а конструктивные характеристики теплообменника также являются фиксированными, температурная эффективность подогревателя системы отопления также меняться не будет, если пренебречь небольшим изменением коэффициента теплопередачи из-за непостоянства температуры теплоносителей. Поэтому при выполнении температурного графика в теплосети соответствующий график в контуре системы отопления будет обрабатываться автоматически, и задачей местного регулирования этого контура будет только устранение небольших отклонений, которые всегда возможны при функционировании системы вследствие различных возмущающих воздействий, например, в виде колебаний внутренних тепловыделений и теплопоступлений от солнечной радиации с соответствующим изменением текущей теплопотребности здания.

В этом случае фактические температуры воды в магистралях системы отопления в рассматриваемом режиме  $t_{г.ф}$  и  $t_{о.ф}$ , °С, можно определить непосредственно по графику. При этом имеется в виду, что при подаче в водоподогреватель отопления со стороны теплосети отработанной воды после подогревателей ГВС именно она будет играть роль воды из подающей магистрали. Следовательно, нужно найти на графике для значений

$T$  точку, для которой будет выполняться равенство  $T_1 = T_{2н}$ , и определить для этих же условий величину  $t_{г.ф}$  и  $t_{о.ф}$ , как показано на рисунке 2. Дополнительно уточнить полученные значения можно непосредственно по уравнению температурного графика.

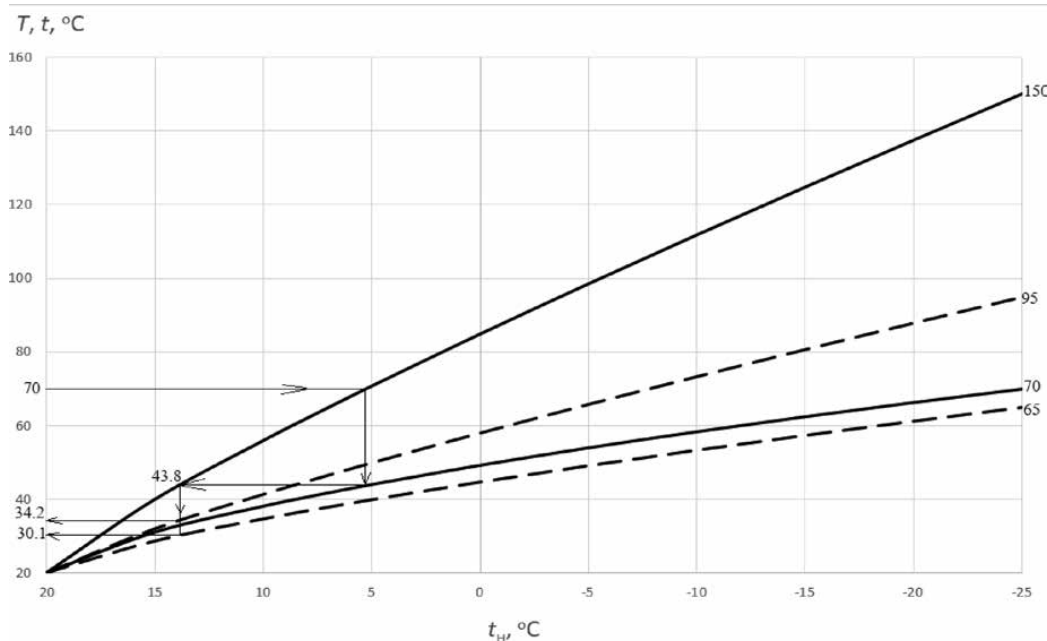
Тогда при подаче такой воды в систему отопления при ее независимом присоединении можно записать выражение для безразмерной фактической теплоотдачи системы отопления здания по отношению к  $Q_{сум}$  [15]:

$$\bar{Q} = \left[ \frac{(t_{г.ф} + t_{о.ф})}{2} - t_B \right]^{n+1} \left/ \frac{(t_{г.0} + t_{о.0})}{2} - t_B \right. \quad (4)$$

Здесь  $t_{г.0} = +95^\circ$  и  $t_{о.0} = +65^\circ$  — соответственно температуры воды в подающей и обратной магистралях системы отопления в расчетных зимних условиях;  $n = 0.25$  — показатель степени, характеризующий нелинейность изменения теплоотдачи [15].

По рисунку 2 находим  $t_{г.ф} = +34.2^\circ$ ,  $t_{о.ф} = +30.1^\circ$ , тогда  $\bar{Q} = 0.136$ , откуда фактическая теплоотдача системы отопления составит  $\bar{Q} \cdot Q_{сум} = 0.136 \cdot 275145 = 37419$  Вт. Легко видеть, что это значение превышает величину  $Q_{сум}^2 = 24810$  Вт. Можно показать, что даже при отсутствии солнечной радиации, что, вообще говоря, невозможно, поскольку и при облачной погоде некоторые теплопоступления все же будут иметь место, рассматриваемый способ может обеспечить поддержание требуемой  $t_B = +20^\circ$  при среднесуточной величине  $t_n$  порядка  $+5^\circ$  и выше.

Заметим, однако, что в рассматриваемой схеме, как и в случае зависимого присоединения системы ото-



**Рисунок 2.** Температурный график в тепловой сети ( $T_1$ ,  $T_2$  — сплошные линии) и в системе отопления ( $t_{г.ф}$ ,  $t_{о.ф}$  — пунктир)  
**Figure 2.** Temperature graph in the heat network ( $T_1$ ,  $T_2$  — solid lines) and in the heating system ( $t_{г.ф}$ ,  $t_{о.ф}$  — dotted line)

пления к тепловой сети, все вышеприведенные соотношения выполняются для среднесуточного режима, и целесообразно проверить, в какой степени обеспечивается выполнение санитарно-гигиенических норм и безопасности жизнедеятельности с учетом неравномерности потребления воды на ГВС. Для наиболее невыгодного случая, а именно,  $t_{\text{н}} = +5^{\circ}\text{C}$  за пределами отопительного периода в отсутствие теплопоступлений от солнечной радиации и минимальном водоразборе на нужды ГВС, когда отработанная вода в водоподогреватель системы отопления практически не поступает, можно считать, что суточная амплитуда колебаний теплового возмущения в помещении равна текущим среднесуточным теплотерям.

Тогда для жилого здания, использованного в качестве примера выше, необходимые теплотехнические показатели можно представить в виде в таблицы 2. Здесь  $Y_i$  — коэффициенты теплоусвоения ограждающих конструкций, принимаемые по Приложению Т [12] с использованием рекомендаций [16]. Величина  $P_{\text{огр}} = \sum A_i Y_i$  представляет собой приближенное выражение суммарного показателя теплоусвоения ограждений помещений здания.

Принимая средний коэффициент конвективно-го теплообмена на внутренних поверхностях  $\alpha_{\text{к.ср}}$  в размере около  $3.7 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$  ( $\text{м}^2\cdot\text{К}/\text{W}$ ), вычисляем суммарный показатель конвективного теплообмена  $\Lambda = \alpha_{\text{к.ср}} \sum A_i = 3.7 \cdot 13942 = 51585 \text{ Вт}/\text{К}$  ( $\text{W}/\text{K}$ ). Далее находим показатель теплопоглощения вентиляционно-го воздуха  $P_{\text{вент}} = 0.28 L_{\text{расч}} c \rho_{\text{в}}^{\text{вент}} = 0.28 \cdot 15120 \cdot 1 \cdot 1.3 = 5504 \text{ Вт}/\text{К}$  ( $\text{W}/\text{K}$ ); откуда показатель теплопоглощения помещений здания,  $\text{Вт}/\text{К}$  ( $\text{W}/\text{K}$ ), равен [16]:

$$P_{\text{зд}} = \frac{1}{1/\Lambda + 1/P_{\text{огр}}} + P_{\text{вент}} = \frac{1}{1/120516 + 1/51585} + 5504 = 41605. \quad (5)$$

**Таблица 2.** Теплотехнические показатели ограждений здания

**Table 2.** Thermal indexes of building enclosures

Ограждение Enclosure	Материал* Material	$A_i, \text{м}^2$ ( $\text{m}^2$ )	$Y_i, \text{м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$ ( $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ )	$A_i Y_i, \text{Вт}/\text{К}$ ( $\text{W}/\text{K}$ )
Наружная стена External wall	Керамзитобетон Claydite-concrete	5389	6.13	33035
Междуэтажные перекрытия** Floors	Железобетон Reinforced concrete	$759 \cdot 10 = 7510$	11.4	85614
Окна Windows	-	$\sum A_{\text{ок}} = 1043$	1.79	1867
Сумма Sum	-	$\sum A_i = 13942$	-	$P_{\text{огр}} = \sum A_i Y_i = 120516$

\*) со стороны, обращенной в помещения

\*\*) с учетом количества этажей (9); площадь принимается в натуральном размере, без удвоения, поскольку перекрытия являются внутренними ограждениями, и температурная волна распространяется с обеих сторон

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

$$Q_5 = Q_{\text{сум}} \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{t_{\text{в}} - t_{\text{н}5}} = 275145 \frac{20 - 5}{20 - (-25)} = 91715 \text{ Вт (W)}.$$

Теперь можно оценить амплитуду колебаний  $t_{\text{в}}$  при суточных изменениях водоразбора в системе ГВС [16]:

$$A_{t_{\text{в}}} = \frac{0.9 Q_5}{P_{\text{зд}}} = \frac{0.9 \cdot 91715}{41605} = 2^{\circ}. \quad (6)$$

Таким образом, фактическая величина  $t_{\text{в}}$  будет лежать в пределах  $18 \dots 22^{\circ}$ , что заведомо находится в пределах допустимого диапазона  $18 \dots 23^{\circ}$  для жилых помещений в соответствии с действующим ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях». Более того, полученная амплитуда колебаний  $t_{\text{в}}$  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. Действующий свод правил СП 41-101-95 «Проектирование тепловых пунктов» допускает подобную схему при соответствующем соотношении тепловых нагрузок. Следовательно, предлагаемая схема с точки зрения надежности и безопасности теплоснабжения не уступает стандартной.

## Выводы

– Показано, что использование воды из обратной магистрали тепловой сети после подогревателей ГВС позволит обеспечить надежность теплоснабжения основной группы жилых зданий при похолоданиях после окончания официального отопительного сезона или до его начала даже при независимом присоединении систем отопления к тепловым сетям, что является обя-

зательным для нового строительства [10], при минимальном усложнении конструкции теплового узла;

– Отмечено, что при наличии водоподогревателя системы отопления рассматриваемая схема практически гарантирует автоматическую отработку температурного графика в этой системе при минимальном вмешательстве систем автоматики вследствие близкого соответствия среднесуточного расхода сетевой воды на подогреватели ГВС и расчетного расхода на нужды отопления и вентиляции за отопительный период;

– Доказано, что теплоустойчивость ограждающих конструкций приводит к тому, что температурный режим жилых зданий оказывается стабильным, а их внутренний микроклимат — комфортным при  $t_{\text{н}} > t_{\text{н}}$ ,

поскольку она существенно смягчает влияние суточных колебаний расхода отработанной воды после подогревателей ГВС, подмешиваемой к сетевой воде в подающий трубопровод теплосети;

– Отмечено, что реализация исследуемой схемы требует лишь небольших дополнительных затрат на дополнительное оборудование (насос, регулятор, частотно регулируемый привод), поскольку используется «бросовая» теплота охлажденной в теплообменнике воды. В случае перехода на эту схему большинства потребителей это приведет к общесистемному эффекту, давая возможность повысить выработку электроэнергии в ТЭЦ на тепловом потреблении.

### Список использованных источников

1. Третьякова П. А., Меньшикова А. А., Третьякова Т. В. Показатели эффективности применения тепловых насосов в системе централизованного теплоснабжения. Энергосбережение и водоподготовка 2020; 2(124); 17–21.
2. Амерханов Р. А., Дайбова Л. А., Аракелян Н. С., Армагян Э. Г., Дворный В. В. Энергосберегающие технологии для административных зданий. Энергосбережение и водоподготовка 2019; 1(117); 3–5.
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. Сафуллин Р. Г., Ахмерова Г. М. Экспериментальное исследование теплотехнических характеристик пластинчатого теплообменника на примере установки «блочный тепловой пункт» центра «Systems/Системы» КГАСУ. Сб. докл. VIII международной научно-технической конференции «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции». – М.: НИУ МГСУ 2020; 127–132.
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. Serale G., Capozzoli A., Fiorentini M., Bernardini D., Bemporad A. Model predictive control (MPC) for enhancing building and HVAC system energy efficiency: problem formulation, applications and opportunities. Energies 2018; 3(11); 631.
8. Самарин О. Д. Об обоснованном определении границ отопительного сезона. Жилищное строительство 2017; 1–2: 33–35.
9. Самарин О. Д. Надежное и безопасное теплоснабжение жилых зданий в переходных климатических условиях. Надежность и безопасность энергетики 2018; 2(11): 149–153.
10. СП 60.13330.2016 «СНиП 41-01-2003 "Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха"». – М.: Минстрой РФ 2016; 95.
11. Самарин О. Д. Анализ надежного и безопасного теплоснабжения жилых зданий с использованием отработанной воды после подогревателей ГВС. Надежность и безопасность энергетики 2020; 1(13): 41–47.
12. СП 50.13330.2018 «СНиП 23-02-2003 "Тепловая защита зданий"». – М.: Минстрой РФ 2018; 96.
13. СП 131.13330.2018 «СНиП 23-01-99\* "Строительная климатология"». – М.: Минстрой РФ 2018; 107.

14. СП 30.13330.2016 «СНиП 2.04.01-85 "Внутренний водопровод и канализация зданий"». – М.: Минстрой РФ 2016; 92.

15. Махов Л. М. Отопление. 2-е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во АСВ 2015; 400.

16. Малявина Е. Г., Самарин О. Д. Строительная теплофизика и микроклимат зданий. – М.: Изд-во МИСИ-МГСУ 2018; 288.

### References

1. Tretyakova P. A., Menshikova A. A., Tretyakova T. V. Performance indicators for the use of heat pumps in a district heating system. Energy saving and water treatment 2020; 2(124); 17–21. (In Russ.)
2. Amerkhanov R. A., Daybova L. A., Arakelyan N. S., Armaganyan E. G., Dvornyi V. V. Energy saving technologies for office buildings. Energy saving and water treatment 2019; 1(117): 3–5. (In Russ.)
3. Goloborod'ko I. E., Kozlov S. A., Gudko A. N. Discussion: sweating boilers and low-temperature schedule in heating systems. Sanitary engineering. Heating. Air conditioning 2016; 1: 26–30. (In Russ.)
4. Safullin R. G., Akhmerova G. M. Experimental study of the thermal characteristics of a plate heat exchanger on the example of the installation "block heat point" of the center "Systems" in the KSASU. Proceedings of the VIII International Science and Technical Conference «Theoretical foundations of heat and gas supply and ventilation». – Moscow: NR MSUCE 2020; 127–132. (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. Serale G., Capozzoli A., Fiorentini M., Bernardini D., Bemporad A. Model predictive control (MPC) for enhancing building and HVAC system energy efficiency: problem formulation, applications and opportunities. Energies 2018; 3(11); 631.
8. Samarin O. D. On substantiated definition of heating season boundaries. Residential construction 2017; 1–2: 33–35. (In Russ.)
9. 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.)
10. SP (Set of Rules) 60.13330.2016 «SNiP (Building Code) 41-01-2003 "Heating, ventilation and air conditioning"». – Moscow: Minstroy RF 2016; 95. (In Russ.)
11. 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 2020; 1(13): 41–47. (In Russ.)
12. SP (Set of Rules) 50.13330.2018 «SNiP (Building Code) 23-02-2003 "Thermal performance of the buildings"». – Moscow: Minstroy RF 2018; 96. (In Russ.)
13. SP (Set of Rules) 131.13330.2018 «SNiP (Building Code) 23-01-99\* "Building climatology"». – Moscow: Minstroy RF 2018; 107. (In Russ.)
14. SP (Set of Rules) 30.13330.2016 «SNiP (Building Code) 2.04.01-85 "Domestic water supply and drainage systems in buildings"». – Moscow: Minstroy RF 2016; 92.
15. Makhov L. M. Heating. 2nd ed., corr. and upd. Moscow: ASV Publishers 2015; 400. (In Russ.)
16. Malyavina E. G., Samarin O. D. Building thermal physics and room microclimate. Moscow: MISI-MGSU Publishers 2018; 288. (In Russ.)