



Методика оценки последствий перехода на закрытую схему горячего водоснабжения в системах централизованного теплоснабжения

© С. В. Чичерин¹, С. В. Глухов², М. В. Глухова², А. К. Ильичева³, А. В. Жуйков⁴

¹Акционерное общество «Омские распределительные тепловые сети» (АО «Омск РТС»), г. Омск, Россия

²Омский государственный университет путей сообщения, г. Омск, Россия

³Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

⁴Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

Резюме: С 1 января 2022 года в России начнется переход на закрытую схему горячего водоснабжения в системах централизованного теплоснабжения. Цель исследования – предложить методику оценки последствий данного перехода. Алгоритм действий включает в себя: определение эксплуатационного удельного расхода сетевой воды на ГВС при неавтоматизированном непосредственном водоразборе при изменении температуры наружного воздуха; разработку необходимого режима закрытого ГВС; анализ фактически возможного режима неавтоматизированного потребления в системе теплоснабжения; определение эксплуатационного удельного расхода сетевой воды ГВС в неавтоматизированных системах ГВС при непосредственном водоразборе с учетом специфики работы источника теплоснабжения; расчет расхода сетевой воды на циркуляцию воды в неавтоматизированных системах ГВС; анализ гидравлического режима до и после перехода на закрытую схему; предложение рекомендаций. Применение методики оценки последствий перехода на закрытую схему ГВС в системах централизованного теплоснабжения показало, что на величину расхода подпиточной воды от теплового источника влияет изменение фактического потребления ГВС и температура холодной и горячей воды. На основании проведенного исследования можно заключить, что техническая возможность повсеместного перехода на закрытую схему отсутствует. Рекомендовано при проведении гидравлических расчетов для подготовки технических заключений и режимных карт опираться на фактические значения теплоснабжения; использовать показания приборов учета и учитывать значительную долю неавтоматизированных ГВС при расчете норматива потребления ГВС; учесть при формировании тарифа на теплоснабжение потери тепловой энергии на подогрев полотенцесушителей, внутридомовые потери инженерных сетей жилого дома при четырехтрубной системе теплоснабжения.

Ключевые слова: тепловые сети, вода, температура, ГВС, расход, трубопровод, сетевая вода, нагрузка

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке Правительства Красноярского края, Красноярского краевого фонда поддержки научной и научно-технической деятельности.

Для цитирования: Чичерин С. В., Глухов С. В., Глухова М. В., Ильичева А. К., Жуйков А. В. Методика оценки последствий перехода на закрытую схему горячего водоснабжения в системах централизованного теплоснабжения // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2021. Т. 11. № 3. С. 480–491. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-3-480-491>.

Methodology for assessing the consequences of switching to a closed-circuit hot-water supply in district heating systems

Stanislav V. Chicherin, Sergey V. Glukhov, Mariya V. Glukhova,
Anna K. Ilicheva, Andrey V. Zhuikov,

Omsk Heat Distribution Networks (Omsk RTS), JSC, Omsk, Russia
Omsk State Transport University, Omsk, Russia
Omsk State Technical University, Omsk, Russia
Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Abstract: As of 1 January 2022, the transition to a closed-circuit hot-water supply in district heating systems will begin in Russia. This work proposes a methodology for assessing the consequences of this transition. The procedure is as follows: determining specific operational consumption of district water for hot water supply with manual direct water intake when the outside temperature changes; developing the required mode of closed hot-water supply; analysis of the practically possible mode of manual consumption in the heat supply system; determining the operational specific consumption of hot-water supply in manual hot water systems with direct water intake, including the characteristics of the heat supply source; calculating the flow rate of direct water for water circulation in manual hot water supply systems; analysing the hydraulic regime before and after the transition to a closed circuit; offering recommendations. The method for assessing the consequences associated with the transition to a closed-circuit hot-water supply in district heating systems showed that the amount of make-up water consumption from a heat source is affected by a change in the actual consumption of hot-water supply and the temperature of cold and hot water. Based on the research results, it can be concluded that there is no technical possibility of an overall transition to a closed circuit. To prepare technical reports and performance charts, it is recommended to use the actual values of heat consumption for the hydraulic calculations; to use the metered values and consider a significant number of manual hot-water supply systems in calculating the hot-water supply consumption standard; to include the loss of heat energy on heating towel rails, domestic losses of building services systems under a four-pipe heat supply system in the distribution pricing.

Keywords: network, water, temperature, DHW, flow rate, pipe, heat carrier, demand

Acknowledgments: The study was carried out with the financial support of the Government of the Krasnoyarsk region, the Krasnoyarsk Regional Fund for the Support of Scientific and Scientific and Technical Activities.

For citation: Chicherin S. V., Glukhov S. V., Glukhova M. V., Ilicheva A. K., Zhuykov A. V. Methodology for assessing the consequences of switching to a closed-circuit hot-water supply in district heating systems. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2021;11(3):480-491. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-3-480-491>.

Введение

В России, в соответствии со статьей 29 закона «О теплоснабжении», с 1 января 2022 года произойдет переход на закрытую схему горячего водоснабжения [1]. За рубежом активно развивается система централизованного теплоснабжения четвертого поколения, отличающаяся сниженными температурными графиками и возможностью утилизировать низкопотенциальное сбросное тепло техногенных источников, а за их счет производить нагрев воды для нужд отопления и горячего водоснабжения (ГВС) [2]. Повысить эффективность использования ископаемого топлива, снизить тепловые выбросы в окружающую среду и эмиссию вредных парниковых газов можно путем применения термотрансформаторов (ТТ) [3] или нетрадиционных и возобновляемых источников энергии (НВИЭ) [4]. Специфика использования НВИЭ состоит в неэффективности работы таких систем централизованного теплоснабжения с «нормальными» (95/70) и высокими температурными графиками (110/70 и выше) и сложности покрытия нагрузки ГВС при работе на общую сеть с традиционными тепловыми источниками [5]. За рубежом также исследуются

фактические величины теплопотребления, например, Д. Ивэнко и др. [6] анализируют показания приборов учета и выделяют в общем массиве данных расход теплоносителя на нужды отопления и ГВС. Новизна настоящего исследования состоит в способе расчета и моделирования температур и расходов воды, пригодных для решения задачи оценки последствий перехода на закрытую схему горячего водоснабжения в системах централизованного теплоснабжения, но не ограничивающихся ее решением. В отличие от исследования Ж. Фито и др. [7], где акцент делается на методах математического моделирования, наша методика учитывает фактические показатели. Релевантно исследование М. Кристенсен и др. [8], где в качестве основных источников низкопотенциального сбросного тепла рассматриваются вторичные энергетические ресурсы [9], водооборотные системы в теплоэнергетике и промышленности и отходящие дымовые газы в котельных. В работе Х. Брэсс и др. [10] часовые графики решают похожую задачу получения более достоверных величин. Однако в перечисленных исследованиях не учитывается отечественная специфика: отсутствие и неисправность обору-

дования. Для нормальной работы системы ГВС по открытой схеме требуются: регулятор температуры, бак смешения и обратный клапан на трубопроводе из обратной линии. Все оборудование должно быть исправно и правильно настроено, в противном случае фиксируется перегрев обратной сетевой воды на выходе из индивидуального теплового пункта (ИТП). На качество ГВС напрямую оказывает влияние температура теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах, зависящая от выдерживания температурного графика и состояния тепловой изоляции. Для того чтобы это учесть, разработаны методы, которые позволяют более точно оценить тепловые потери [11] и не пользоваться нормативными величинами [12].

Вклад в науку состоит в оценке последствий для системы централизованного теплоснабжения (СЦТ) от перехода с открытой на закрытую схему ГВС с учетом эксплуатационных показателей. Актуальность настоящего исследования связана с тем, что доля открытых систем ГВС остается значительной, при этом многие из них являются неавтоматизированными [13]. Нормирование теплоснабжения в многоквартирных домах стало темой работ [14, 15]. Практическая значимость результатов исследования состоит в возможности актуализации нормативов потребления тепловой энергии и ГВС и обоснования совместной проверки соответствия нормативов нормативно-технической документации состоянию жилого фонда в условиях отказа от ЦТП и четырехтрубных тепловых сетей [16]. Научная новизна состоит в том, что, в отличие от работы [17], в данном исследовании рассматриваются удельные показатели и влияние соотношения водоразбора из подающего и обратного трубопроводов, а также перехода на закрытую схему на гидравлический режим.

Методы

При расчете открытых систем ГВС расход определяется следующим соотношением:

$$G_{\text{звс.р.}} = \frac{Q_{\text{звс.}}^{\text{сп.}} \cdot 1000}{C \cdot (t_{\text{звс.}} - t_{\text{хв.}})}, \text{ т/ч.} \quad (1)$$

В открытых системах теплоснабжения вода для горячего водоснабжения забирается или из подающей магистрали, или из обратной магистрали, или частично из подающей и частично из обратной линии тепловой сети с таким расчетом, чтобы была обеспечена требуемая температура смеси (см. уравнение (1)). Эквивалент суммарного расхода воды на горячее водоснабжение определяется по формулам:

$$\begin{aligned} &\text{при } t_z \geq \tau_{o2} \\ &W_z = Q_z / (t_z - t_x); \end{aligned} \quad (2)$$

при $t_z \leq \tau_{o2}$

$$W_z = Q_z / (t_{o2} - t_x). \quad (3)$$

Расход воды на горячее водоснабжение из подающего трубопровода тепловой сети:

$$G_{\text{н.звс.}} = \beta \cdot G_{\text{звс.р.}}, \text{ т/ч,} \quad (4)$$

где β – доля расхода воды на ГВС из подающего трубопровода, определяемая по формуле:

$$\beta = (t_z - \tau_{o2}) / (\tau_{o1} - \tau_{o2}), \quad (5)$$

где τ_{o1} , τ_{o2} , t_z , t_x – температуры сетевой воды соответственно в подающей и обратной линиях горячей и холодной водопроводной воды.

Расход воды на горячее водоснабжение из обратного трубопровода тепловой сети:

$$G_{\text{о.звс.}} = (1 - \beta) \cdot G_{\text{звс.р.}}, \text{ т/ч.} \quad (6)$$

Чем выше температура воды в обратном трубопроводе, тем больше воды забирается из обратной линии и соответственно меньше из подающей. При температуре окружающего воздуха ниже температуры наружного воздуха, при которой осуществляется перевод водоразбора с одной линии на другую («точка перехода»), вся вода для ГВС должна отбираться только из обратной линии. Весь отопительный период можно разбить на два диапазона: с постоянной и с переменными температурами воды в подающей линии. Обычно применяется график центрального качественного регулирования, поэтому в диапазоне с постоянной температурой воды в подающей линии вся вода для ГВС отбирается из подающей линии: $\beta = 1$; $(1 - \beta) = 0$. В диапазоне с переменными температурами

воды в подающей линии по мере снижения t_n растёт $(1 - \beta)$ и уменьшается β . При некото-

рой температуре наружного воздуха $t_{n,2}$ температура воды в обратной линии становится равной t_z , т.е. $\tau_{o2} = t_z$; в этом режиме $(1 - \beta) = 1$; $\beta = 0$. В диапазоне наружных температур $t_{n,2} - t_{n,0}$ весь водоразбор идет из обратной линии тепловой сети, т.е. $\beta = 0$.

При переходе на закрытую схему расчетный эквивалент расхода сетевой воды на подогреватель ГВС определяют по формуле:

$$W_z^p = Q_{\text{звс.р.}} / (\tau_{o1}'' - \tau_{o2}''), \quad (7)$$

где $Q_{\text{звс.р.}}$ – расчетная нагрузка ГВС, в качестве которой при отсутствии бака-аккумулятора (подающее большинство в системе централизованного теплоснабжения г. Омска) должна приниматься максимальная нагрузка:

$$Q_{\text{звс.р.}} = Q_{\text{звс.}}^{\text{max.}}, \text{ Гкал/ч.} \quad (8)$$

При наличии баков аккумуляторов:

$$Q_{\text{звс.р.}} = Q_{\text{звс.}}^{\text{ср.}}, \text{ Гкал/ч,} \quad (9)$$

где $Q_{\text{звс.}}^{\text{ср.}}$ – величина средней тепловой нагрузки на ГВС, $Q_{\text{звс.}}^{\text{max.}}$ – величина максимальной тепловой нагрузки на ГВС, при отсутствии данных определяется по формуле:

$$Q_{\text{звс.}}^{\text{max.}} = \kappa \cdot Q_{\text{звс.}}^{\text{ср.}}, \text{ Гкал/ч,} \quad (10)$$

где κ – коэффициент часовой неравномерности (2–2,4 для жилых многоквартирных домов); τ_{01}''' , τ_{22}''' – температуры воды в подающей линии тепловой сети и после подогревателя при максимальной нагрузке горячего водоснабжения и наружной температуре $t_{н.и.}$. Таким образом, кратко рекомендуемую последовательность действий при оценке последствий перехода на закрытую схему ГВС в системах централизованного теплоснабжения можно представить в виде следующих шагов:

1. Определение эксплуатационного удельного расхода сетевой воды на ГВС при неавтоматизированном непосредственном водоразборе при изменении температуры наружного воздуха.
2. Оценка нормативных условий при неавтоматизированном непосредственном водоразборе.
3. Разработка необходимого режима закрытого водоразбора.

4. Анализ фактически возможного режима неавтоматизированного водоразбора в системе теплоснабжения.

5. Определение эксплуатационного удельного расхода сетевой воды ГВС в неавтоматизированных системах ГВС при непосредственном водоразборе с учетом специфики работы источника теплоснабжения.

6. Расчет расхода сетевой воды на циркуляцию воды в неавтоматизированных системах ГВС при непосредственном водоразборе.

7. Анализ гидравлического режима до и после.

8. Предложение рекомендаций.

Ситуационное исследование

Исследование выполнено на примере г. Омска. Система централизованного теплоснабжения города от тепловых источников – Кировской районной котельной (КРК), ТЭЦ-2, ТЭЦ-3, ТЭЦ-4 и ТЭЦ-5 – выполнена, в основном, по зависимой элеваторной схеме. В отопительный период ~50% тепловой нагрузки ГВС присоединено по закрытой схеме через водоподогреватели на ИТП и ЦТП. В летний период практически вся нагрузка (~90%) переводится на открытую схему с обеспечением ГВС по одному трубопроводу без циркуляции. Для оценки влияния детально исследовалось ответвление от магистрального трубопровода, обеспечивающее теплом 29 домов с общей тепловой нагрузкой 11,7 Гкал/ч (рис. 1).

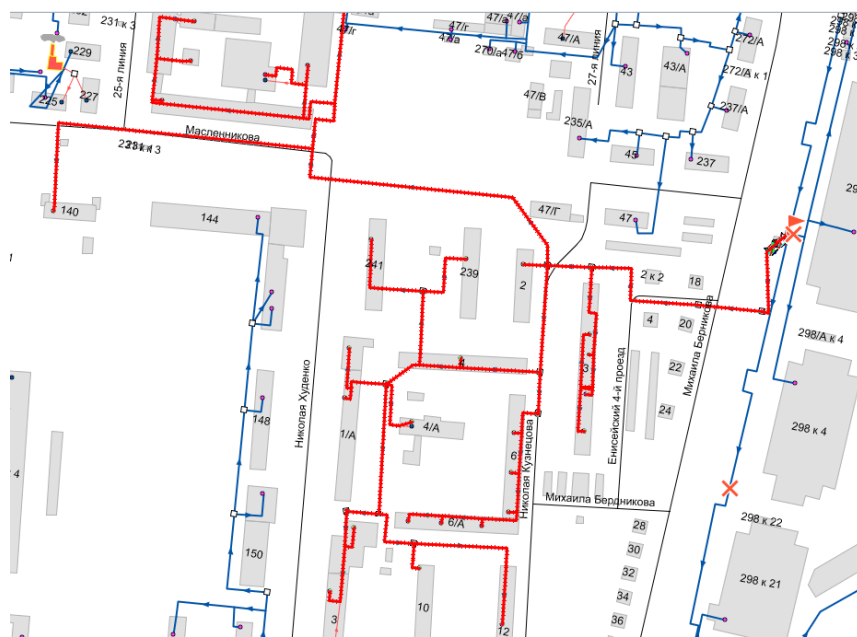


Рис. 1. Схема тепловых сетей объекта исследования в теплогидравлической модели ZuluThermo среды ГИС Zulu

Fig. 1. Layout of the DH networks within studied area modeled with the help of GIS Zulu software (ZuluThermo module)

Результаты и их обсуждение

Выбор температуры воды в подающей линии, при которой водоразбор переводится с одной линии на другую, ограничивается условиями безопасности пользования горячей водой, с одной стороны, и возможностью вообще использовать горячую воду – с другой. Компромиссом может являться такая темпе-

ратура наружного воздуха, при которой температура воды в подающей линии минимально бы превышала допустимую и соответствующая ей температура воды в обратной линии в наименьшей степени отличалась бы от нормативной. Для г. Омска была рассчитана данная температура (табл. 1).

Таблица 1. Анализ фактически возможного режима неавтоматизированного водоразбора в системе теплоснабжения при температуре точки перехода
Table 1. Analyzing actual conditions at buckling points. Temperatures for direct DHW consumption presented

Показатели / Indicators	ТЭЦ-2 / Heat-only boiler plant #2	ТЭЦ-3 / CHPP #3	ТЭЦ-4 / CHPP #4	ТЭЦ-5 / CHPP #5	КРК / Kirov heat-only boiler plant	В среднем по СЦТ / Average
Температура наружного воздуха / Outdoor temperature	– 7					
Фактическая температура воды в подающем трубопроводе / Actual supply temperature	86,6					
Оценочная температура воды в подающем трубопроводе / Assessed supply temperature	82,9	83,5	82,1	82,8	83,4	83,1
Оценочная температура воды в обратном трубопроводе / Assessed return temperature	51,7	51,3	50,1	51,1	50,8	51,2

Примечание: оценочные величины приняты согласно разделам 5.6 и 5.7¹.

Приведенные температуры заметно ниже аналогичных, показанных в исследовании Д. Ивэнко и др. [6], что связано с применяемым оборудованием и переходом на системы централизованного теплоснабжения четвертого поколения.

Например, в европейских системах диаметр головных участков, как правило, не превышает 300 мм [8], в рассматриваемом объекте исследования средний диаметр этих трубопроводов – 640 мм.

Режим регулирования отпуска тепла от теплоисточников ТЭЦ-5 и КРК г. Омска осуществляется по идентичному графику с расчетными температурами сетевой воды 150–70°C (со срезкой на 118°C), что значительно отличается от системы качественно-количественного регулирования, принятого в Западной Европе [7].

Согласно нормативной документации², с учетом возможного остывания теплоносителя на наиболее удаленном потребителе температуры следует принимать на 5°C ниже (табл. 2).

При этом по состоянию на переходный период отопительного сезона 2020–2021 гг. имеет место практика завышения температуры теплоносителя в подающем трубопроводе в связи с большой протяженностью тепловых сетей и значительными тепловыми потерями. Так, по наименьшему теплоисточнику – КРК – суммарная максимальная подключенная нагрузка по воде – 719,941 Гкал/ч (нагрузка по пару отсутствует); общее количество тепловых камер – 185, в том числе: по первому лучу – 71, по второму – 43, по третьему – 26, по четвертому – 25, а также на теплотрассе «Заозерная» – 20.

Фактические тепловые потери через изоляцию по тепловым сетям составили более 189 тыс. Гкал, что не соответствует нормативному показателю.

При водоразборе только из подающей линии $\beta = 1$, а эксплуатационный удельный расход сетевой воды на горячее водоснабжение (т/Гкал) приведен в табл. 3.

¹РД 153-34.0-20.523-98. Методические указания по составлению энергетических характеристик для систем транспорта тепловой энергии: введ. 01.05.99. М., 1999.

²Там же.

Таблица 2. Средние значения температуры воды в системе ГВС при неавтоматизированном водоразборе
Table 2. Analyzing actual conditions at buckling points. Temperatures for direct DHW consumption presented

Показатель / Indicator	ТЭЦ-2 / Heat-only boiler plant #2	ТЭЦ-3 / СНРР #3	ТЭЦ-4 / СНРР #4	ТЭЦ-5 / СНРР #5	КРК / Kirov heat-only boiler plant	В среднем по СЦТ / Average
Температура ГВС при водоразборе только из подающей линии [°C] / DHW temperature, when water is extracted from the supply line [°C]	77,9	78,5	77,1	77,8	78,4	78,1
Температура ГВС при водоразборе только из обратной линии [°C] / DHW temperature, when water is extracted from the return line [°C]	46,7	46,3	45,1	46,1	45,8	46,2

Эксплуатационный удельный расход сетевой воды на 1 Гкал тепловой нагрузки потребителей с неавтоматизированным непосредственным водоразбором предлагается рассчитывать с учетом коэффициента, учитывающего необходимость увеличения расхода сетевой воды на системы отопления, покрывающего тепловые потери в системе ГВС и в

то же время обеспечивающего нормальный расход тепловой энергии на системы отопления (табл. 4).

Приведенные значения заметно ниже аналогичных, показанных в исследовании Х. Брэсс и др. [10], что объясняется отсутствием открытой схемы ГВС [18] и применяемыми температурными графиками [19].

Таблица 3. Расчет расхода сетевой воды на циркуляцию воды в неавтоматизированных системах ГВС при непосредственном водоразборе
Table 3. DH network flow rates for direct DHW consumption

Характерная температура наружного воздуха, °C / Outdoor temperature, °C		Оценочное среднее значение температуры ГВС, °C / Assessed average DHW temperature, °C	Удельный расход сетевой воды на горячее водоснабжение, т/Гкал / Specific flow rate to cover 1 Gcal of DHW heat demand	
			из подающего трубопровода / From the supply line	из обратного трубопровода / From the return line
Температура наружного воздуха, соответствующая началу и концу отопительного сезона / Outdoor temperature to start and finish space heating season	8,0	62,7	17,33	0
Температура наружного воздуха, соответствующая точке излома температурного графика / Outdoor temperature at buckling point	0,3	62,1	17,52	0
Точка перехода / Intermittent point	-7	77,9	13,72	0
Точка перехода / Intermittent point	-7	46,2	0	24,30
Промежуточная точка а) / Intermediate a-point	-17	56,6	0	19,38
Промежуточная точка б) / Intermediate b-point	-27	65,4	0	16,56
Расчетная температура наружного воздуха / Design outdoor temperature	-37	63,1	0	17,21

Таблица 4. Определение эксплуатационного удельного расхода сетевой воды ГВС в неавтоматизированных системах ГВС при непосредственном водоразборе
Table 4. Specific DHW flow rate when it is consumed directly

Показатели / Indicators	Эксплуатационный удельный расход сетевой воды на 1 Гкал тепловой нагрузки потребителей с неавтоматизированным непосредственным водоразбором, т/Гкал / Specific flow rate to cover 1 Gcal of heat demand with direct DHW-consumption, t/Gcal
ТЭЦ-2 / Heat-only boiler plant #2	16,386
ТЭЦ-3 / CHPP #3	15,819
ТЭЦ-4 / CHPP #4	14,821
ТЭЦ-5 / CHPP #5	15,261
КРК / Kirov heat-only boiler plant	15,051
В среднем по СЦТ / Average	15,472

В свою очередь, фактические потери сетевой воды за календарный год составили 1878,794 тыс. м³ при расчетном значении данного показателя 662,734 тыс. м³. При этом определяющее влияние на сверхнормативные потери сетевой воды (1212,060 тыс. м³) оказывают следующие факторы:

- утечки на тепловых сетях и системах теплоснабжения;
- потери сетевой воды, выявленные при несанкционированном водоразборе;
- потери сетевой воды с утечкой, не установленной по месту и количественно, а также ввиду неточности измерения ее объема из-за погрешности приборов учета на ТЭЦ или их отсутствия на подпиточной линии;
- сверхдоговорной разбор сетевой воды на ГВС;
- небаланс договорных и фактических нагрузок [20].

Снижению эксплуатационных расходов с целью обеспечения пропускной способности при переходе на закрытую схему также способствуют следующие ремонтно-профилактические работы:

- капитальный ремонт тепловых сетей с заменой ветхих трубопроводов;
- замена трубопроводов при устранении повреждений;
- ремонт сетевых насосов согласно плану графику;
- гидравлические испытания трубопроводов на прочность и плотность при давлении 16...20 кгс/см². В течение предыдущего отопительного сезона в г. Омске при эксплуатации оборудования и трубопроводов тепловых сетей выявлено и устранено 39 повреждений. При этом наметилась тенденция к снижению повреждаемости тепловых сетей.

Расчетные гидравлические режимы по отвлечению от магистральной тепловой сети, а также режимы работы задействованных при этом ИТП и участков тепловых сетей, представленных на рис. 1, определены по результатам теплогидравлических расчетов с использованием программы ZuluThermo³ среды ZuluGIS. На рис. 2 и 3 приведены значения среднесуточного часового расхода сетевой воды (при ГВС по открытой схеме с подающего трубопровода) и ниже даны значения среднесуточного часового расхода теплоносителя (при переводе ГВС на закрытую схему). Расчетные расходы воды определены при среднечасовой нагрузке ГВС по открытой схеме из подающего трубопровода с учетом увеличения расхода за счет снижения температуры сетевой воды в связи с тепловыми потерями (в расчет заложены нормативные тепловые потери). На рис. 3 был показан пьезометрический график на ГВС в закрытых системах при искусственно выровненной нагрузке горячего водоснабжения. При этом расчетный расход включает в себя расход подпиточной воды на ГВС, принятый при температуре 60 °С, и рассчитан с учетом данных сбытовой организации о количестве фактически проживающих жителей, что несколько снижает расход на рис. 2 и неоднозначно влияет на расход на рис. 3 в связи с отсутствием достоверных данных. При расчете гидравлических потерь по трубопроводам и располагаемых напоров на тепловых узлах потребителей учитывались нормативные утечки в тепловых сетях, абонентских сетях и системах теплоснабжения, а гидравлический режим работы отвлечения определен в результате оптимального распределения тепловых нагрузок между тепловыми потребителями и расходов теплоносителя по участкам тепловых сетей на расчетную температуру наружного воздуха.

³ZuluThermo – моделирование гидравлических режимов в тепловых сетях [Электронный ресурс] // Компания «Поли-терм». URL: <https://www.politerm.com/products/thermo/zuluthermo/> (14.07.2021).

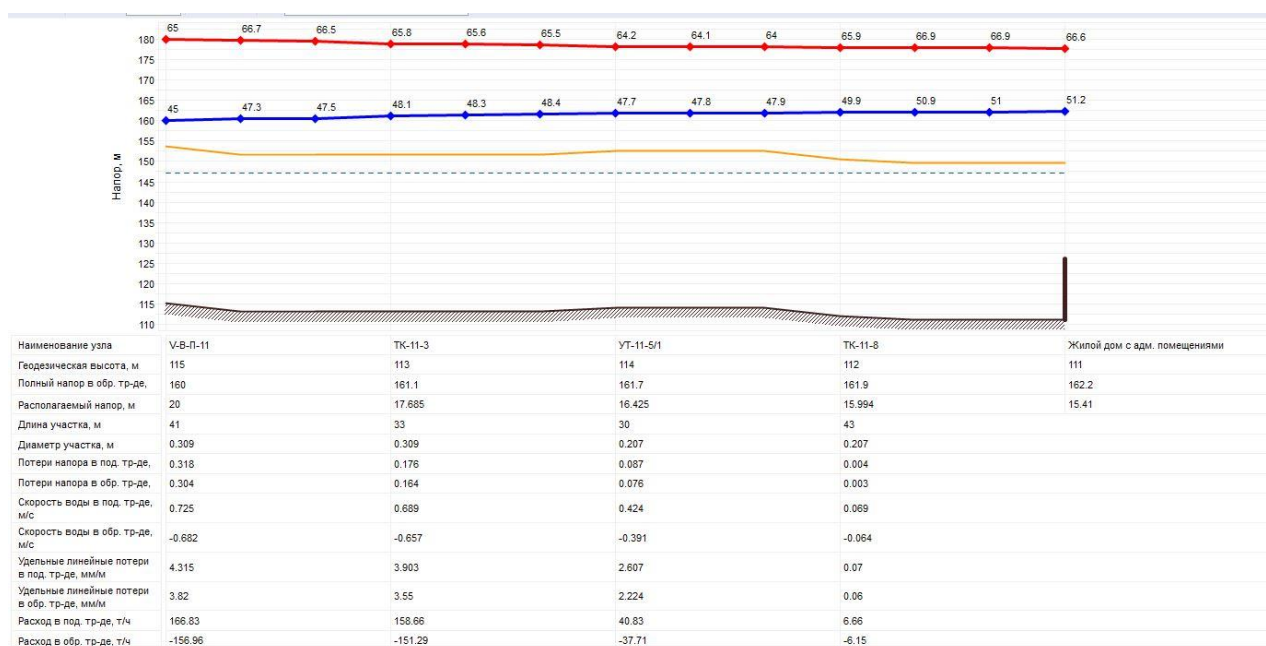


Рис. 2. Пьезометрический график внутриквартальных тепловых сетей, работающих согласно существующему гидравлическому режиму
Fig. 2. Pressure diagram, when DH system works 'as is'

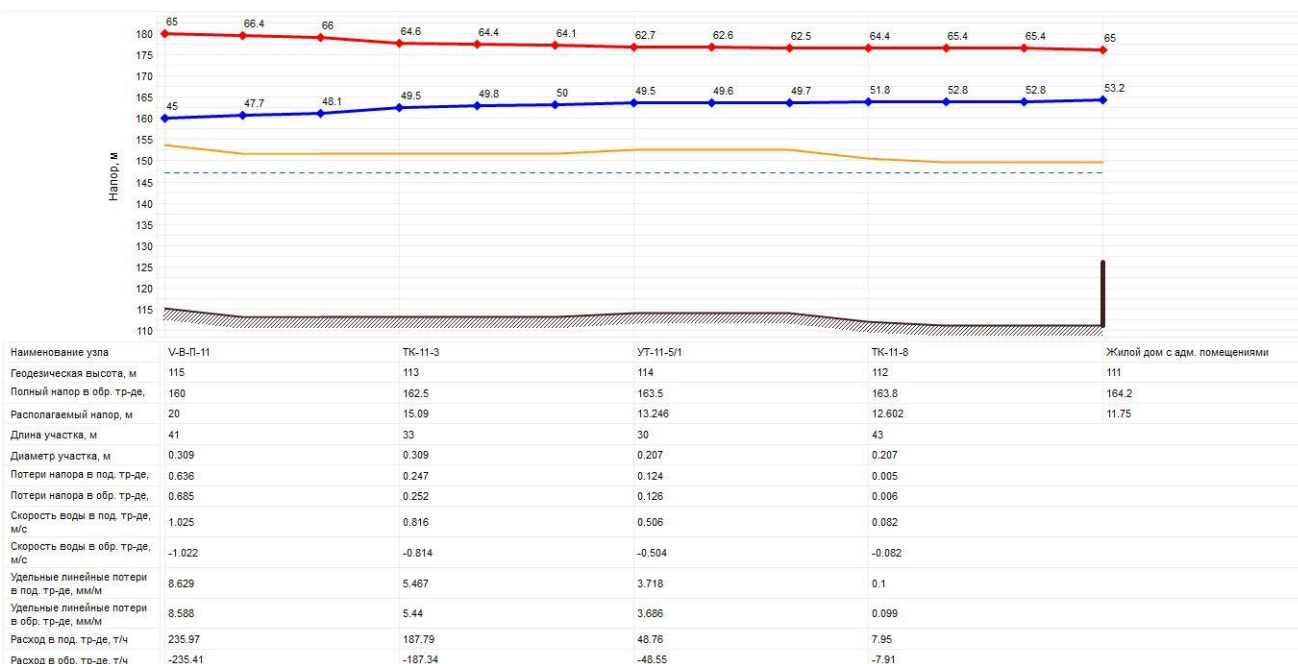


Рис. 3. Пьезометрический график внутриквартальных тепловых сетей после перехода на закрытую схему
Fig. 3. Pressure diagram in case of indirect DHW consumption scenario

Таким образом, снижение располагаемого напора составило 4 м вод. ст., его величина ниже минимально допустимых 15 м вод. ст., что требует дополнительных инвестиций на реконструкцию ИТП и перевода на автоматизированную схему или оставляет риски неудовлетворительного качества отопления в

зимний период. Высокая степень оснащённости ИТП средствами автоматического регулирования и оснащённость радиаторов регулирующими клапанами [2] упрощала бы переход на закрытую схему.

Кроме того, согласно Постановлению Мэра города Омска от 05.04.2005 №217-п «Об

обеспечении жителей города жилищно-коммунальными услугами», среднесуточные нормативы потребления тепловой энергии на горячее водоснабжение на одного человека для жилых домов с централизованным горячим водоснабжением, оборудованных ваннами, составляют 0,1519 Гкал и 3,51 м³ в месяц (120 литров горячей воды в сутки, приведенной к температуре 55°C с учетом отключения горячего водоснабжения в летний период на 14 суток). Для сравнения отметим также, что, по данным СНиП 2.04.01-85* «Внутренний водопровод и канализация зданий» (приложение 3), норма суточного расхода воды потребителями в жилых домах квартирного типа с ваннами длиной от 1500 до 1700 мм, оборудованными душами, составляет в среднем 250 л (в том числе 105 л горячей воды), а в сутки наибольшего водопотребления – 300 л (в том числе 120 л горячей воды), что и отражает результаты моделирования и позволяет говорить о достоверности математической модели.

Заключение

Результаты исследования фактических температур и расходов показывают, что техническая возможность повсеместного перехода на закрытую схему отсутствует. Ситуация усугубляется тем, что регуляторы температуры ГВС систем, присоединенных по открытой схеме, имеются не везде. Регулирование температуры осуществляется обслуживающим персоналом управляющих организаций путем переключения ГВС на подающий либо обратный трубопровод, либо с обоих трубопроводов путем смешивания в соответствующих баках.

Методика оценки последствий перехода на закрытую схему ГВС в системах централизованного теплоснабжения показала, что на величину расхода подпиточной воды от теплового источника оказывают влияние многие факторы, что в систематизированном виде можно представить следующим образом:

– изменение фактического потребления ГВС (количество человек, особенности здания, дни недели, сезонность);

– температура холодной воды (в течение года меняется от 1 до 23°C);

– температура горячей воды (фактически при открытой схеме ГВС без регуляторов температура может меняться от 45 до 90...95°C).

На основании выполненного исследования даны следующие рекомендации:

– при проведении гидравлических расчетов для подготовки технических заключений и режимных карт опираться на фактические значения (при наличии) или расчетные значения с подстановкой фактических температур по формулам (1–5, 7);

– использовать показания приборов учета и учитывать значительную долю неавтоматизированных ГВС при расчете подогрева воды при расчете норматива потребления ГВС;

– теплоснабжающей организации обращаться в администрацию города для предоставления материалов расчета нормативов потребления тепловой энергии и ГВС и с предложением совместной проверки соответствия нормативов нормативно-технической документации состоянию жилого фонда, а также их изменения в случае выявленных несоответствий;

– подготовить материалы по обоснованию корректирующего коэффициента на сверхнормативные потери;

– установить терморегуляторы на системах ГВС в соответствии с правилами технической эксплуатации тепловых энергоустановок по графику;

– учесть при формировании тарифа потери тепловой энергии, возникающие при невыставлении величин (Гкал) на подогрев полотенцесушителей, на внутридомовые потери инженерных сетей жилого дома при четырехтрубной системе теплоснабжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Липовка Ю.Л., Венин А.С., Михайлова А.С. Гидравлический режим тепловой сети при переходе с открытой на закрытую систему теплоснабжения // Энергосбережение и водоподготовка. 2019. № 6 (122). С. 53–56.
2. Guelpa E. Impact of thermal masses on the peak load in district heating systems // Energy. 2021. Vol. 214. p. 118849. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118849>.
3. Степанов К.И., Мухин Д.Г. Анализ эффективности абсорбционного бромистолитиевого тер-

мотрансформатора с двухступенчатой абсорбцией в составе газифицированных энергетических установок // Теплоэнергетика. 2021. № 1. С. 43–51.

4. Лежанин М.В. Внедрение солнечных коллекторов в систему горячего водоснабжения зданий в республике Саха (Якутия) // Энергетик. 2019. № 8. С. 22–25.

5. Chicherin S., Zhuikov A., Junussova L., Yelemanova A. Multiple-fuel District Heating System of a Transportation Facility: Water Performance-

based View // Transportation Research Procedia. 2021. Vol. 54. p. 31–38. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.02.044>.

6. Ivanko D., Sørensen Å.L., Nord N. Splitting measurements of the total heat demand in a hotel into domestic hot water and space heating heat use // Energy. 2021. Vol. 219. p. 119685. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119685>.

7. Fitó J., Hodencq S., Ramousse J., Wurtz F., Stutz B., Debray F., et al. Energy-and exergy-based optimal designs of a low-temperature industrial waste heat recovery system in district heating // Energy Conversion and Management. 2020. Vol. 211. p. 112753. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112753>.

8. Kristensen M.H., Hedegaard R.E., Petersen S. Long-term forecasting of hourly district heating loads in urban areas using hierarchical archetype modeling // Energy. 2020. Vol. 201. p. 117687. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117687>.

9. Алхасов А.Б., Алхасова Д.А. Комплексное использование низкопотенциальных термальных вод юга России для тепло-, водоснабжения и решения экологических проблем // Теплоэнергетика. 2019. № 5. С. 82–88. <https://doi.org/10.1134/S0040363619050011>.

10. Braas H., Jordan U., Best I., Orozaliev J., Vajen K. District heating load profiles for domestic hot water preparation with realistic simultaneity using DHWcalc and TRNSYS // Energy. 2020. Vol. 201. p. 117552. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117552>.

11. Chicherin S., Mašatin V., Siirde A., Volkova A. Method for Assessing Heat Loss in A District Heating Network with A Focus on the State of Insulation and Actual Demand for Useful Energy // Energies. 2020. Vol. 13. № 17. p. 4505. <https://doi.org/10.3390/en13174505>.

12. Zhuikov A.V., Kolosov M.V., Radzyuk A.Yu., Chicherin S.V. Research of energy efficiency of temperature control systems in buildings // AIP Conference Proceedings. 2021. Vol. 2337. № 1. p. 030014. <https://doi.org/10.1063/5.0046540>.

13. Самарин О.Д. Анализ надежного и безопасного теплоснабжения жилых зданий с использо-

ванием 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>.

14. Ливчак В.И. О нормировании коммунальной услуги на горячее водоснабжение в многоквартирных домах // Сантехника. 2019. Т. 1. № 1. С. 32–39.

15. Ливчак В.И. Предложение к изменению норматива коммунальной услуги в тепловой энергии на горячее водоснабжение многоквартирных домов и гостиниц // Сантехника. 2019. № 2. С. 52–55.

16. Ваньков Ю.В., Запольская И.Н., Измайлова Е.В., Загреддинов А.Р., Плотникова Л.В. Снижение энергопотребления при переходе на горячее водоснабжение от индивидуальных тепловых пунктов // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2019. Т. 11. № 1. С. 19–27.

17. Ваньков Ю.В., Запольская И.Н., Гапоненко С.О., Мухаметова Л.Р. Повышение надежности транспортировки тепловой энергии до потребителей в условиях модернизации системы горячего водоснабжения // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2020. Т. 12. № 4. С. 29–37.

18. Wirtz M., Kivilip L., Remmen P., Müller D. 5th Generation District Heating: A novel design approach based on mathematical optimization // Applied Energy. 2020. Vol. 260. p. 114158. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114158>.

19. Volkova A., Krupenski I., Ledvanov A., Hlebnikov A., Lepiksaar K., Latšov E., et al. Energy cascade connection of a low-temperature district heating network to the return line of a high-temperature district heating network // Energy. 2020. Vol. 198. p. 117304. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117304>.

20. Farouq S., Byttner S., Bouguelia M.R., Nord N., Gadd H. Large-scale monitoring of operationally diverse district heating substations: A reference-group based approach // Engineering Applications of Artificial Intelligence. 2020. Vol. 90. p. 103492. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2020.103492>.

REFERENCES

1. Lipovka YuL, Venin AS, Mikhailova AS. Hydraulic mode of the heat network when transiting with open to closed heat supply system. *Energoberezhenie i vodopodgotovka*. 2019;6(122):53-56. (In Russ.).

2. Guelpa E. Impact of thermal masses on the peak load in district heating systems. *Energy*. 2021;214:118849. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118849>.

3. Stepanov KI, Mukhin DG. Analysis of the efficiency of an absorption lithium bromide thermo-transformer with two-stage absorption in the composition of gasified power plants. *Teploenergetika*. 2021;1:43-51. (In Russ.).

4. Lezhanin MV. Implementation of solar heaters in hot water supply system of buildings in Sakha republic (Yakutia). *Energetik*. 2019;8:22-25. (In Russ.).

5. Chicherin S, Zhuikov A, Junussova L, Yelemanova A. Multiple-fuel District Heating System of a Transportation Facility: Water Performance-based View. *Transportation Research Procedia*. 2021;54:31-38. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.02.044>.
6. Ivanko D, Sørensen AL, Nord N. Splitting measurements of the total heat demand in a hotel into domestic hot water and space heating heat use. *Energy*. 2021;219:119685. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119685>.
7. Fitó J, Hodencq S, Ramousse J, Wurtz F, Stutz B, Debray F, et al. Energy- and exergy-based optimal designs of a low-temperature industrial waste heat recovery system in district heating. *Energy Conversion and Management*. 2020;211:112753. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112753>.
8. Kristensen MH, Hedegaard RE, Petersen S. Long-term forecasting of hourly district heating loads in urban areas using hierarchical archetype modeling. *Energy*. 2020;201:117687. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117687>.
9. Alkhasov AB, Alkhasova DA. Comprehensive utilization of low-potential geothermal waters of southern Russia for heat and water supply and solution of environmental problems. *Teploenergetika*. 2019;5:82-88. (In Russ.). <https://doi.org/10.1134/S0040363619050011>.
10. Braas H, Jordan U, Best I, Orozaliev J, Vajen K. District heating load profiles for domestic hot water preparation with realistic simultaneity using DHW-calc and TRNSYS. *Energy*. 2020;201:117552. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117552>.
11. Chicherin S, Mašatin V, Siirde A, Volkova A. Method for Assessing Heat Loss in A District Heating Network with A Focus on the State of Insulation and Actual Demand for Useful Energy. *Energies*. 2020;13(17):4505. <https://doi.org/10.3390/en13174505>.
12. Zhuikov AV, Kolosov MV, Radzyuk AY, Chicherin SV. Research of energy efficiency of temperature control systems in buildings. *AIP Conference Proceedings*. 2021;2337(1):030014. <https://doi.org/10.1063/5.0046540>.
13. Samarin OD. Analysis of reliable and safe heat supply of residential buildings using waste water after DHW heat exchangers. *Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Safety and Reliability of Power Industry*. 2020;13(1):41-47. <https://doi.org/10.24223/1999-5555-2020-13-1-41-47>. (In Russ.).
14. Livchak VI. On the rationing of utility services for hot water supply in apartment buildings. *Santekhnika*. 2019;1(1):32-39. (In Russ.).
15. Livchak VI. Proposal for changing the standard of communal services in thermal energy for hot water supply of apartment buildings and hotels. *Santekhnika*. 2019;2:52-55. (In Russ.).
16. Vankov YuV, Zapolskaya IN, Izmailova EV, Zagretidinov AR, Plotnikova LV. Energy consumption reduction during transition to hot water supply from individual thermal points. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta*. 2019;11(1):19-27. (In Russ.).
17. Vankov YuV, Zapolskaya IN, Gaponenko SO, Mukhametova LR. Improving the reliability of heat energy transportation to consumers in the context of the hot water supply system modernization. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta*. 2020;12(4):29-37. (In Russ.).
18. Wirtz M, Kiviliip L, Remmen P, Müller D. 5th Generation District Heating: A novel design approach based on mathematical optimization. *Applied Energy*. 2020;260:114158. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114158>.
19. Volkova A, Krupenski I, Ledvanov A, Hlebnikov A, Lepiksaar K, Latšov E, et al. Energy cascade connection of a low-temperature district heating network to the return line of a high-temperature district heating network. *Energy*. 2020;198:117304. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117304>.
20. Farouq S, Bytner S, Bouguelia MR, Nord N, Gadd H. Large-scale monitoring of operationally diverse district heating substations: A reference-group based approach. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 2020;90:103492. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2020.103492>.

Сведения об авторах

Чичерин Станислав Викторович,
инженер структурного подразделения
«Тепловые сети»,
АО «Омские распределительные тепловые
сети» (АО «Омск РТС»),
644020, г. Омск, ул. Братская, 3а, Россия,
✉e-mail: man_csv@hotmail.com
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9359-9678>

Information about the authors

Stanislav V. Chicherin,
Engineer, structural division
“Heating networks”, Omsk Heat Distribution
Networks (Omsk RTS), JSC,
3a Bratskaya Str., Omsk, 644020, Russia,
✉e-mail: man_csv@hotmail.com
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9359-9678>

Глухов Сергей Витальевич,
кандидат технических наук, доцент кафедры
теплоэнергетики,
Омский государственный университет путей
сообщения,
644046, г. Омск, пр. Маркса, 35, Россия,
e-mail: svgluk@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0245-4594>

Глухова Мария Викторовна,
кандидат технических наук, доцент кафедры
теплоэнергетики,
Омский государственный университет путей
сообщения,
644046, г. Омск, пр. Маркса, 35, Россия,
e-mail: svgluk@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5744-9998>

Ильичева Анна Константиновна,
магистрант,
Омский государственный технический
университет,
644050, г. Омск, пр. Мира, 11, Россия,
e-mail: man_csv@hotmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8985-5720>

Жуйков Андрей Владимирович,
кандидат технических наук,
заведующий учебно-научной лабораторией
кафедры теплотехники и гидрогазодинамики
Политехнического института,
Сибирский федеральный университет,
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79,
Россия,
e-mail: azhuikov@sfu-kras.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9809-8285>

Sergey V. Glukhov,
Cand. Sci (Eng.), Associate Professor of the
Department of Heat Power Engineering,
Omsk State Transport University,
35 Marx avenue, Omsk, 644046, Russia,
e-mail: svgluk@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0245-4594>

Mariya V. Glukhova,
Cand. Sci (Eng.), Associate Professor of the
Department of Heat Power Engineering,
Omsk State Transport University,
35 Marx avenue, Omsk, 644046, Russia,
e-mail: svgluk@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5744-9998>

Anna K. Ilicheva,
Master student,
Omsk State Technical University,
11 Mira avenue, Omsk, 644050, Russia,
e-mail: man_csv@hotmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8985-5720>

Andrey V. Zhuikov,
Cand. Sci. (Eng.), Head of the educational
and scientific laboratory of the Thermal
Engineering and Fluid and Gas Dynamics
of Polytechnic Institute,
Siberian Federal University,
79 Svobodny avenue, Krasnoyarsk, 660041,
Russia,
e-mail: azhuikov@sfu-kras.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9809-8285>

Заявленный вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Статья поступила в редакцию 28.05.2021.
Одобрена после рецензирования 23.06.2021.
Принята к публикации 25.06.2021.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

The article was submitted 28.05.2021.
Approved after reviewing 23.06.2021.
Accepted for publication 25.06.2021.