

# ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ



УДК 697.3:696.4

DOI:10.30724/1998-9903-2024-26-5-54-65

## О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ СХЕМЫ ПОДКЛЮЧЕНИЯ УСТАНОВОК ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Ротов П.В.<sup>1</sup>, Горшков А.В.<sup>2</sup>, Ротова М.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ульяновский государственный технический университет, г. Ульяновск, Россия

<sup>2</sup>ПАО «Т Плюс», филиал «Ульяновский», г. Ульяновск, Россия

p.rotov@rambler.ru

**Резюме:** ЦЕЛЬ. Статья посвящена актуальной для отечественного централизованного теплоснабжения проблеме. Рассмотрена широко распространенная ситуация, когда к открытой системе теплоснабжения от ТЭЦ переключаются потребители от систем теплоснабжения с закрытой схемой подключения установок горячего водоснабжения. МЕТОДЫ. Выполнено исследование режимов работы действующих систем теплоснабжения. Сбор данных осуществлялся при помощи онлайн-системы контроля и коммерческого учета энергоресурсов. Предложена методология расчета сравниваемых режимных параметров. РЕЗУЛЬТАТЫ. На примере действующей системы теплоснабжения показано, что эффект от мероприятия по переключению абонентов неэкономичных котельных на теплоисточники с комбинированной выработкой тепловой и электрической энергией нивелируется законодательными ограничениями по развитию открытых систем теплоснабжения, а также нормативным методом определения потребления теплоты в системах горячего водоснабжения. Выбраны основные технико-экономические показатели для сравнительного анализа работы централизованной системы теплоснабжения в условиях полного переключения установок горячего водоснабжения по открытой схеме и при наличии некоторого количества установок горячего водоснабжения с закрытой схемой подключения. ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Определен период неэффективной работы централизованной системы теплоснабжения и рассчитан размер годового экономического ущерба, что позволило доказать необходимость приведения всех схем подключения установок горячего водоснабжения в одной системе теплоснабжения к единому типу.

**Ключевые слова:** централизованное теплоснабжение; системы горячего водоснабжения; регулирование тепловой нагрузки.

**Для цитирования:** Ротов П.В., Горшков А.В., Ротова М.А. О целесообразности изменения схемы подключения установок горячего водоснабжения // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2024. Т. 26. № 5. С. 54-65. doi:10.30724/1998-9903-2024-26-5-54-65.

## ABOUT EXPEDIENCY OF CHANGING THE CONNECTION DIAGRAM OF HOT WATER SUPPLY UNITS

Rotov P.V.<sup>1</sup>, Gorshkov A.V.<sup>2</sup>, Rotova M.A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk, Russia

<sup>2</sup>PJSC T Plus, Ulyanovsk branch, Ulyanovsk, Russia

p.rotov@rambler.ru

**Abstract:** PURPOSE. The article is devoted to an urgent problem for domestic district heating. A widespread situation is considered when consumers from heat supply systems with a closed connection scheme for hot water supply plants are switched to an open heat supply system from a

*thermal power plant. METHODS. Study of operating modes of operating heat supply systems was performed. Data collection was carried out using an online system for monitoring and commercial accounting of energy resources. Methodology for calculation of compared mode parameters is proposed. RESULTS. Using the example of the existing heat supply system, it is shown that the effect of the measure to switch subscribers of uneconomical boiler houses to heat sources with combined heat and power generation is leveled by legislative restrictions on the development of open heat supply systems, as well as by the regulatory method for determining heat consumption in hot water supply systems. The main technical and economic indicators were selected for comparative analysis of the operation of the centralized heat supply system in conditions of complete switching of hot water supply plants according to an open circuit and in the presence of a certain number of hot water supply plants with a closed connection scheme. CONCLUSION. The period of inefficient operation of the centralized heat supply system was determined and the amount of annual economic damage was calculated, which made it possible to prove the need to bring all schemes for connecting hot water supply plants in one heat supply system to a single type.*

**Keywords:** district heating; hot water supply systems; heat load control.

**For citation:** Rotov P.V., Gorshkov A.V., Rotova M.A. About expediency of changing the connection diagram of hot water supply units. *Power engineering: research, equipment, technology*. 2024; 26 (5): 54-65. doi:10.30724/1998-9903-2024-26-5-54-65.

#### ***Введение и литературный обзор (Introduction and Literature review)***

В Российском законодательстве в соответствии с требованием Федерального закона от 27.07.2010 г. №190-ФЗ «О теплоснабжении» до 2022 г. существовала норма об обязательном переключении всех установок горячего водоснабжения (ГВС) систем теплоснабжения городов на закрытые схемы. Как показали научно-технические исследования, прогнозируемая эффективность этих мероприятий оказалась недостаточно высокой за счет потенциально больших капитальных затрат в системы теплоснабжения [1-4].

Поскольку единовременного «закрытия» схем не произошло, в российских городах сохранилась структура теплоснабжения, включающая несколько взаимосвязанных или независимых систем от теплоисточников различной мощности и принадлежности с различными схемами подключения установок ГВС.

Анализ разработанных схем теплоснабжения различных городов России подтверждает, что одним из направлений повышения эффективности их работы является вывод из эксплуатации неэкономичных котельных путем переключения тепловой нагрузки на тепловые электрические станции [5-8]. И если системы теплоснабжения от ТЭС могут быть открытыми или закрытыми, то системы теплоснабжения, подключенные к котельным, как правило, проектируются закрытыми.

При переключении потребителей от котельной в объединенной системе теплоснабжения могут одновременно оказаться установки ГВС, подключенные по открытой и закрытой схемам. Согласно нормативным требованиям минимальная температура теплоносителя в закрытых системах теплоснабжения в переходный период отопительного сезона и в межотопительный период должна быть не ниже 70 °С, что существенно выше минимально необходимой температуры для работы открытых систем в этих же периодах равной 60 °С.

Таким образом, возникает практическая задача качественного обеспечения потребителей горячим водоснабжением в системах, подключенных к одному теплоисточнику по разным схемам.

#### ***Материалы и методы (Materials and methods)***

В системе теплоснабжения г. Ульяновска за последние годы выполнен комплекс мероприятий по переключению тепловой нагрузки ряда ведомственных котельных на тепловые электрические станции. В результате в одной системе теплоснабжения оказались потребители, подключенные по открытой и закрытой схемам обеспечения нагрузки систем ГВС. Сведения о тепловой мощности теплоисточников и о присоединенной нагрузке приведены в таблице 1.

Таблица 1  
Table 1Производительность котельных и присоединенная нагрузка  
Boiler house capacity and connected load

Наименование	Установленная тепловая мощность, Гкал/ч	Присоединенная суммарная тепловая нагрузка, Гкал/ч	Тип системы ГВС
ООО «РТС «Репино»	96,0	39,2	закрытая
АО «Комета»	120,0	57,8	закрытая

\*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author

Наличие центральных тепловых пунктов (ЦТП), подключенных по закрытой схеме, обусловлено плановым переводом существующих тепловых нагрузок от ведомственных котельных на Ульяновские ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2 в рамках мероприятий, приведенных в программе утвержденной схемы теплоснабжения муниципального образования «город Ульяновск». Переключение нагрузки котельной АО «Комета» на ТЭЦ-2 осуществлено в 2017 г., нагрузки котельной ООО «РТС «Репино» на ТЭЦ-1 – в 2022 г. Доля переведенных тепловых нагрузок на ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2 не превышает 3% нагрузок отпускаемого ТЭС тепла. Квартала с закрытой схемой теплоснабжения находятся на удалении более 7,5 км от теплоисточников. На наш взгляд, переключение существующих тепловых нагрузок не следует рассматривать как новое подключение.

До переключения нагрузки на ТЭС в межотопительный и переходные периоды отопительного сезона в этих кварталах происходило снижение качества ГВС в связи с недостаточными параметрами теплоносителя для нормальной работы теплообменного оборудования. Кроме того, в этих кварталах зафиксировано неоднократное ухудшение качества горячей воды из-за физико-химических показателей исходной водопроводной воды, поступающей в подогреватели для нагрева.

Одним из возможных и наиболее экономичных решений этой проблемы является «открытие» схемы теплоснабжения в переключенных кварталах. Преимуществами в этом случае является то, что переключение ЦТП на открытую схему не потребует материально-технических ресурсов и позволит оптимизировать тепловой и гидравлический режим работы системы теплоснабжения путем выдерживания оптимальной температуры теплоносителя. Показатели качества горячей воды не ухудшатся, т.к. для обеих систем действуют одни и те же санитарные нормы и правила [9]. Кроме того, «открытие» схемы затрагивает сравнительно небольшое количество потребителей.

Другой вариант решения проблемы недостаточной температуры ГВС у небольшого количества абонентов, подключенных по закрытой схеме, путем повышения температуры теплоносителя на теплоисточнике для всех потребителей существенно повлияет на эффективность работы всей централизованной системы теплоснабжения за счет перерасхода топливно-энергетических ресурсов.

Минимально необходимая температура сетевой воды на выходе ТЭЦ для выдерживания минимально необходимой температуры теплоносителя на вводе в дома, подключенные по закрытой схеме ГВС составит:

$$t_{\text{ТЭЦ}i}^{\text{зак}} = t_{\text{ГВС}i} + \Delta t_{\text{кв}i} + \Delta t_{\text{маг}i} + \Delta t, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (1)$$

где  $t_{\text{ГВС}i}$  – минимальная температура ГВС на вводе в дом,  $^\circ\text{C}$ ;  $\Delta t_{\text{кв}i}$  – понижение температуры теплоносителя в подающем трубопроводе на участке от ЦТП до многоквартирного дома с наибольшим снижением температуры ГВС,  $^\circ\text{C}$ ;  $\Delta t_{\text{маг}i}$  – понижение температуры теплоносителя в подающем трубопроводе на участке теплосети от ТЭЦ до ЦТП,  $^\circ\text{C}$ ;  $\Delta t$  – изменение температуры на ЦТП,  $^\circ\text{C}$ ;  $i$  – номер теплоисточника.

Наибольшее изменение температуры теплоносителя на ЦТП происходит в теплообменном оборудовании, поэтому за величину  $\Delta t$  принимается разность между начальной температурой греющего теплоносителя и конечной температурой нагреваемой воды [10, 11]. Схематичное изображение изменения температуры воды на различных участках системы теплоснабжения приведено на рисунке 1.

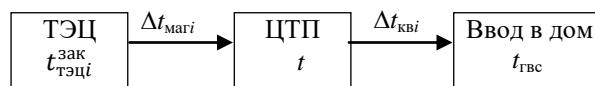


Рис. 1. Изменение температуры воды в системе теплоснабжения Fig. 1. Change of water temperature in the heating system

\*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Исходные данные для расчета приняты на основе фактических режимных параметров работы обеих систем теплоснабжения и приведены в таблице 2. С учетом этих данных температура теплоносителя на выходе с теплоисточника, определенная по уравнению (1), составит  $t_{\text{ТЭЦ}1}^{\text{зак}} = 74^\circ\text{C}$  на ТЭЦ-1, на ТЭЦ-2 –  $t_{\text{ТЭЦ}2}^{\text{зак}} = 73^\circ\text{C}$ .

Таблица 2

Table 2

Исходные данные для расчета режимных параметров

*Initial data for calculation of mode parameters*

Наименование	Обозначение	ТЭЦ-1	ТЭЦ-2
Отпуск теплоты в межотопительный период, Гкал	$Q_{\text{ГВС}}$	231874	128846
Расход теплоносителя для ГВС, т	$G_{\text{ГВС}}$	1765220	793800
Температура теплоносителя в подающем/обратном трубопроводах теплосети от ТЭЦ в межотопительном периоде (МОП) на основе разработанных энергетических характеристик, $^\circ\text{C}$	$t_1^{\text{отк}}/t_2^{\text{отк}}$	70/52,3	68/55,6
Расчетные тепловые потери в МОП, Гкал	$Q_{\text{ТП}}$	141728	37353
Цена тепловой энергии, руб./Гкал	$\Pi_{\text{ТЭ}}$	1970,24	1970,24
Стоимость условного топлива, руб./т.у.т.	$\Pi_{\text{Т}}$	4987	4383
Минимальная температура ГВС на вводе в дом, $^\circ\text{C}$	$t_{\text{ГВС}}$	62	62
Разность температуры греющего и нагреваемого теплоносителя в теплообменнике ГВС, $^\circ\text{C}$	$\Delta t$	5	5
Минимальная температура ГВС в точке водоразбора, $^\circ\text{C}$	$t^{\text{h}}$	60	60
Понижение температуры теплоносителя в подающем трубопроводе на участке теплосети от ТЭЦ до ЦТП, $^\circ\text{C}$	$\Delta t_{\text{мг}}$	5,3	2,2
Понижение температуры воды в подающем трубопроводе на участке от ЦТП до многоквартирного дома с наибольшим снижением температуры ГВС, $^\circ\text{C}$	$\Delta t_{\text{кв}}$	1,9	5,1
Температура холодной воды, $^\circ\text{C}$	$t_{\text{хвс}}$	18,4	8,8
Удельный расход условного топлива на выработку тепловой энергии, кг/Гкал	$b_{\text{Т}}$	152,7	139,3
Температура внутреннего воздуха, $^\circ\text{C}$	$t_{\text{в}}$	20	20
Расчетная температура наружного воздуха, $^\circ\text{C}$	$t_{\text{н.о}}$	-33	-33

\*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author

Таким образом, при сохранении закрытой схемы ГВС в некоторых кварталах, у всех остальных потребителей, подключенных по открытой схеме, температура теплоносителя вырастет на  $\Delta t_{\text{ГВС}1} = 4^\circ\text{C}$  для системы теплоснабжения от ТЭЦ-1 и на  $\Delta t_{\text{ГВС}2} = 5^\circ\text{C}$  – для ТЭЦ-2. Это приведет к повышению разности температур между теплоносителем и окружающей средой, и, как следствие, к росту сверхнормативных тепловых потерь в системах теплоснабжения.

Основными факторами формирования дополнительных тепловых потерь в системах ГВС является наличие постоянной круглосуточной, практически нерегулируемой, циркуляции в системах ГВС и нормативный метод определения потребления теплоты на нужды ГВС [12, 13].

Технико-экономическое обоснование перевода с закрытой на открытую схему осуществляется путем сравнения следующих эксплуатационных показателей при различных значениях минимально необходимой температуры на выводах ТЭЦ:

- тепловых потерь во внутридомовых системах ГВС, обусловленных повышенным циркуляционным расходом;
- объема реализованной теплоты на нужды ГВС в межотопительный период;
- технологических потерь теплоты в тепловых сетях;
- объема нереализованной теплоты, потребленной в переходный период;
- объема снижения выработки электроэнергии на тепловом потреблении.

#### **Результаты и обсуждение (Results and discussion)**

**Тепловые потери во внутридомовых системах ГВС, обусловленные повышенным циркуляционным расходом.**

Тепловые потери внутридомовых трубопроводов ГВС средним диаметром 32 мм в открытой схеме при разности температур трубопровода ГВС и окружающей среды равной  $(t_{\text{ГВС}} - t_{\text{в}}) = 42^\circ\text{C}$  составляют  $q_{\text{ГВС}}^{\text{отк}} = 63$  ккал/(ч·м).

В условиях отключения автоматического регулирования температуры ГВС в межотопительный и переходный периоды вынужденное повышение температуры теплоносителя на 4-5 $^\circ\text{C}$  у остальных потребителей приведет к росту тепловых потерь во

внутридомовых системах ГВС до значения  $q_{\text{ГВС1}}^{\text{закр}} = 70$  ккал/(ч·м) в системе теплоснабжения от ТЭЦ-1,  $q_{\text{ГВС2}}^{\text{закр}} = 71,5$  ккал/(ч·м) в системе от ТЭЦ-2, более чем на 10 %.

Соотношение тепловых потерь можно описать через коэффициент изменения тепловых потерь

$$K_{\text{теплотп}i} = q_{\text{ГВС}i}^{\text{закр}} / q_{\text{ГВС}i}^{\text{откр}}. \quad (2)$$

На основании анализа режима работы системы теплоснабжения г. Ульяновска в межотопительном сезоне фактический расход теплоты на нагрев единицы объема горячей воды определен по выражению

$$q_{\text{уд.откр}i} = Q_{ti}^h / q_{ti}^h, \quad (3)$$

где  $Q_{ti}^h$  – тепловой поток на нужды горячего водоснабжения в течение среднего часа водопотребления в  $i$ -ой системе теплоснабжения, Гкал/ч;  $q_{ti}^h$  – среднечасовой расход горячей воды в  $i$ -ой системе теплоснабжения, м<sup>3</sup>/ч.

Для системы теплоснабжения от ТЭЦ-1 фактический расход теплоты на нагрев единицы объема горячей воды составит  $q_{\text{уд.откр}1} = 0,13$  Гкал/м<sup>3</sup>, для ТЭЦ-2 –  $q_{\text{уд.откр}2} = 0,12$  Гкал/м<sup>3</sup>, при нормативном значении  $q_{\text{уд.норм}} = 0,067$  Гкал/м<sup>3</sup> [12-14].

В соответствии с требованиями нормативно-технической документации<sup>1</sup> тепловой поток на нужды горячего водоснабжения с учетом тепловых потерь можно определить из выражения

$$Q_{ti}^h = q_{ti}^h \cdot c \cdot (t^h - t_{\text{хвс}i}) \cdot 10^{-3} + Q_i^{\text{ht}} = q_{ti}^h \cdot c \cdot (t^h - t_{\text{хвс}i}) \cdot 10^{-3} (1 + K_{\text{тп}i}), \quad (4)$$

где  $Q_i^{\text{ht}}$  – тепловые потери в трубопроводах ГВС, Гкал/ч;  $K_{\text{тп}i}$  – коэффициент, учитывающий тепловые потери трубопроводами ГВС;  $t^h$  – температура горячей воды в точке водоразбора, °С;  $t_{\text{хвс}i}$  – температура холодной воды, °С;  $c$  – теплоемкость воды, ккал/(кг·°С).

Решая совместно уравнения (3) и (4) получим уравнение для определения коэффициента, учитывающего тепловые потери трубопроводами горячего водоснабжения

$$K_{\text{тп}i} = \frac{q_{\text{уд.откр}i} \cdot (t^h - t_{\text{хвс}i}) \cdot c \cdot 10^{-3}}{(t^h - t_{\text{хвс}i}) \cdot c \cdot 10^{-3}}. \quad (5)$$

С учетом расхода теплоты, определенного по уравнению (3) и данных таблицы 2, фактический коэффициент тепловых потерь, учитывающий потери трубопроводами горячего водоснабжения, для системы теплоснабжения от ТЭЦ-1 в 6,1–21,3 раза превысит нормативное значение<sup>2</sup> равное  $K_{\text{тп}} = 0,1 \div 0,35$ , для системы от ТЭЦ-2 – в 3,8–13,4 раза.

Следует отметить, что повышение температуры теплоносителя приведет к пропорциональному росту тепловых и коммерческих потерь, обусловленных теплопередачей и невозможностью продажи потребителям открытой системы теплоснабжения избыточной теплоты. Это увеличение характеризуется приведенным коэффициентом тепловых потерь,  $K_{\text{пр}i}$ , определяемым по уравнению:

$$K_{\text{пр}i} = K_{\text{тп}i} \cdot K_{\text{теплотп}i}. \quad (6)$$

Результаты расчетов величин по уравнениям (2), (5) и (6) для различных систем теплоснабжения приведены в таблице 3. Как следует из таблицы 3, изменение режима приведет к значительному росту технологических и коммерческих потерь.

Решая систему уравнений (3)-(4) с учетом приведенного коэффициента тепловых потерь из таблицы 3 и величины повышения температуры теплоносителя у потребителей с открытой схемой подключения, определим удельный расход теплоты на нагрев единицы объема ГВС для системы теплоснабжения, функционирующей при повышенной температуре ГВС у всех потребителей, Гкал/м<sup>3</sup>.

$$q_{\text{уд.закр}i} = c \cdot (t^h + \Delta t_{\text{ГВС}} - t_{\text{хвс}i}) \cdot (1 + K_{\text{пр}i}) \cdot 10^{-3}. \quad (7)$$

Определенные по уравнению (7) значения составляют  $q_{\text{уд.закр}1} = 0,15$  Гкал/м<sup>3</sup> для системы теплоснабжения от ТЭЦ-1,  $q_{\text{уд.закр}2} = 0,14$  Гкал/м<sup>3</sup> для системы теплоснабжения от ТЭЦ-2.

Дополнительные ежегодные затраты на тепловые потери внутридомовых систем ГВС,  $\Pi_{\text{кп}i}$ , руб., определяются по уравнению

$$\Pi_{\text{кп}i} = G_{\text{ГВС}i} \cdot (q_{\text{уд.закр}i} - q_{\text{уд.откр}i}) \cdot b_{ti} \cdot \Pi_{ti}. \quad (8)$$

где  $G_{\text{ГВС}i}$  – расход теплоносителя на нужды ГВС, м<sup>3</sup>/ч;  $b_{ti}$  – удельный расход условного топлива на выработку тепловой энергии, кг/Гкал;  $\Pi_{ti}$  – стоимость условного топлива, руб./т.у.т.

Результаты расчета по уравнению (8) приведены в таблице 3.

<sup>1</sup> СП 30.13330.2020. Внутренний водопровод и канализация зданий

<sup>2</sup> Постановление Правительства Российской Федерации от 23.05.2006 г. №306

Таблица 3  
Table 3Показатели тепловых потерь  
Heat loss indicators

Наименование показателя	Система теплоснабжения ТЭЦ-1	Система теплоснабжения ТЭЦ-2
Коэффициент изменения тепловых потерь, $K_{\text{теплотот}}$	1,11	1,14
Коэффициент тепловых потерь, учитывающий потери трубопроводами горячего водоснабжения, $K_{\text{тп}}$	2,13	1,34
Приведенный коэффициент тепловых потерь, $K_{\text{пр}}$	2,36	1,53
Дополнительные затраты на тепловые потери внутридомовых систем ГВС $\Pi_{\text{кп}}$ , млн.руб.	31,1	10,8

\*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author

**Объем нереализованной теплоты на нужды ГВС в межотопительный период.**

В настоящее время расчет потребления в системах горячего водоснабжения осуществляется с использованием норматива расхода тепловой энергии, используемой на подогрев холодной воды, величина которого варьируется в регионах России от 0,057 до 0,069 Гкал/м<sup>3</sup> [12-14]. Вынужденное повышение температуры теплоносителя на 4-5 °С у потребителей с открытой схемой ГВС приведет к дополнительному отпуску теплоты в эти системы, которое при нормативном методе расчета потребления ГВС не будет реализовано и приведет к росту так называемых «коммерческих» потерь.

Одним из характерных показателей эффективной работы системы теплоснабжения является удельный расход теплоносителя на единицу потребленной теплоты,  $g_{\text{ГВС}}^{\text{отк(закр)}}$ , м<sup>3</sup>/Гкал. Очевидно, что этот показатель, определенный по уравнениям (9, 10), будет меняться с изменением способа приготовления горячей воды:

– для открытой системы теплоснабжения:

$$g_{\text{ГВСi}}^{\text{отк}} = 1000 / (t_{\text{ГВС}} - t_{\text{хвси}}), \quad (9)$$

– для системы, функционирующей при повышенной температуре ГВС:

$$g_{\text{ГВСi}}^{\text{закр}} = 1000 / (t_{\text{ГВС}} + \Delta t - t_{\text{хвси}}). \quad (10)$$

Соотношение удельных расходов воды в различных системах, определенных по уравнениям (9)-(10), характеризуется коэффициентом изменения расхода воды:

$$K_{\text{объемi}} = g_{\text{ГВСi}}^{\text{закр}} / g_{\text{ГВСi}}^{\text{отк}}. \quad (11)$$

Результаты расчета удельных расходов воды во внутриквартальных трубопроводах ГВС и их соотношения в различных системах ГВС с учетом исходных данных из таблицы 2 по уравнениям (9)-(11) приведены в таблице 4.

Объем теплопотребления системами ГВС с учетом норматива расхода тепловой энергии на подогрев холодной воды для предоставления коммунальной услуги ГВС, которое можно реализовать потребителям, Гкал, определяется из уравнений:

– в открытой системе теплоснабжения:

$$Q_{\text{отки}} = G_{\text{ГВСi}} \cdot q_{\text{уд.норм}}, \quad (12)$$

– в системе, функционирующей при повышенной температуре ГВС:

$$Q_{\text{закри}} = G_{\text{ГВСi}} \cdot q_{\text{уд.норм}} \cdot K_{\text{объемi}}. \quad (13)$$

Изменение объема реализации коммунальной услуги по горячему водоснабжению  $\Delta \Pi_i$ , руб., составит

$$\Delta \Pi_i = [G_{\text{ГВСi}} \cdot q_{\text{уд.норм}} \cdot (1 - K_{\text{объемi}})] \cdot \Pi_{\text{тэi}}. \quad (14)$$

где  $\Pi_{\text{тэi}}$  – стоимость тепловой энергии, руб./Гкал.

Результаты расчета по уравнениям (9)-(14) приведены в таблице 4.

Таблица 4  
Table 4Удельные режимные параметры в различных системах теплоснабжения  
Specific mode parameters in different heat supply systems

Наименование показателя	Система теплоснабжения ТЭЦ-1	Система теплоснабжения ТЭЦ-2
Удельный расход ГВС в открытой системе, $g_{\text{ГВС}}^{\text{откр}}$ м <sup>3</sup> /Гкал	22,94	18,80
Удельный расход ГВС в системе, функционирующей при повышенной температуре, $g_{\text{ГВС}}^{\text{закр}}$ м <sup>3</sup> /Гкал	21,01	17,18
Коэффициент изменения расхода воды, $K_{\text{объем}}$	0,916	0,913
Изменение объема реализации коммунальной услуги по ГВС $\Delta \Pi_i$ , млн.руб.	19,6	9,1

\*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author

**Технологические потери теплоты в тепловых сетях.**

Повышение температуры сетевой воды в подающем трубопроводе на  $\Delta t_{гвс} = 4 \div 5$  °С приведет к пропорциональному изменению температуры обратной сетевой воды на ТЭЦ  $t_{2i}^{закр}$ , °С, определяемой по уравнению

$$t_{2i}^{закр} = t_{2i}^{закр} - (t_{1i}^{отк} - t_{2i}^{отк}) \cdot \frac{q_{гвсi}^{отр}}{q_{гвсi}^{закр}} \quad (15)$$

Определим изменения технологических потерь тепла при транспортировке теплоносителя по тепловым сетям в межотопительный и переходный периоды при повышении  $t_{2i}^{закр}$ . Для системы теплоснабжения г. Ульяновска межотопительный период длится с мая по сентябрь. Нормативная продолжительность переходного периода составляет два месяца. Изменение температуры в системе теплоснабжения пропорционально изменению тепловых потерь в трубопроводах системы ГВС.

Расчетное количество тепловых потерь в системе теплоснабжения определено по методике Приказа Минэнерго России от 30.12.2008 N 325 «Об утверждении порядка определения нормативов технологических потерь при передаче тепловой энергии, теплоносителя», результаты расчетов сведены в таблицах 5, 6.

Увеличение тепловых потерь в межотопительном периоде, обусловленное повышением температуры теплоносителя в подающем трубопроводе теплосети, составит, Гкал

$$Q_{тпi}^{ув} = \sum_{j=1}^n (Q_{jтп}^{закр} - Q_{jтп}^{отк}), \quad (16)$$

где  $Q_{jтп}^{закр}$ ,  $Q_{jтп}^{отк}$  – тепловые потери в j-ом месяце межотопительного и переходного периодов соответственно в закрытой и открытой системах, Гкал; n – количество месяцев переходного и межотопительного периода.

Увеличение тепловых потерь в межотопительном периоде, обусловленное повышением температуры теплоносителя в подающем трубопроводе теплосети, составит, Гкал

$$Q_{тпi}^{ув} = \sum_{j=1}^n (Q_{jтп}^{закр} - Q_{jтп}^{отк}), \quad (17)$$

где  $Q_{jтп}^{закр}$ ,  $Q_{jтп}^{отк}$  – тепловые потери в j-ом месяце межотопительного и переходного периодов соответственно в закрытой и открытой системах, Гкал; n – количество месяцев переходного и межотопительного периода.

Дополнительный ежегодный убыток от повышенных тепловых потерь трубопроводами теплосети,  $\Pi_{тпi}$ , руб., определяется по уравнению

$$\Pi_{тпi} = Q_{тпi}^{ув} \cdot b_{тi} \cdot \Pi_{тi}. \quad (18)$$

Результаты расчетов по уравнениям (17) и (18) приведены в таблицах 5, 6.

Таблица 5

Table 5

Потери тепловой энергии в тепловых сетях от ТЭЦ-1

Heat losses in heat networks from CHPP-1

месяц	открытая схема			закрытая схема			Изменение тепловых потерь $Q_{тп}^{ув}$ , Гкал
	$t_1^{отк}$ , °С	$t_2^{отк}$ , °С	потери тепла, $Q_{тп}^{отк}$ , Гкал	$t_1^{зак}$ , °С	$t_2^{зак}$ , °С	потери тепла, $Q_{тп}^{закр}$ , Гкал	
май	70	52,3	21477	74	54,3	22389	912
июнь	70	52,3	20166	74	54,3	21047	881
июль	70	52,3	20213	74	54,3	21125	912
август	70	52,3	20176	74	54,3	21088	912
сентябрь	70	52,3	20129	74	56,3	21011	881
октябрь	67	43,5	21644	74	47	23303	1 659
апрель	67	43,5	21887	74	47	23490	1 603
Итого за год			145692			153453	7 761
Дополнительный убыток от тепловых потерь, $\Pi_{тп}$ , млн. руб.							5,9

\*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author

Таблица 6  
Table 6Потери тепловой энергии в тепловых сетях от ТЭЦ-2  
Heat losses in heat networks from CHPP-2

месяц	открытая схема			закрытая схема			Изменение тепловых потерь $Q_{\text{тп}}^{\text{ув}}$ , Гкал
	$t_1^{\text{отк}}$ , °C	$t_2^{\text{отк}}$ , °C	потери тепла, $Q_{\text{тп}}^{\text{отк}}$ , Гкал	$t_1^{\text{зак}}$ , °C	$t_2^{\text{зак}}$ , °C	потери тепла, $Q_{\text{тп}}^{\text{закр}}$ , Гкал	
май	68	55,6	12183	73	58,9	12769	586
июнь	68	55,6	14359	74	58,9	15062	703
июль	68	55,6	14548	74	58,9	15275	727
август	68	55,6	10204	74	58,9	10702	499
сентябрь	68	55,6	14415	74	58,9	15118	703
октябрь	67	43,5	14147	74	44,3	14749	602
апрель	67	43,5	14026	74	44,3	14607	581
Итого за год			93882			98282	4400
Дополнительные убыток от тепловых потерь, $\Pi_{\text{тп}}$ , млн. руб.							2,7

\*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author

## Расчет объемов нереализованной теплоты, потребленной в переходный период.

Потребители, у которых погодозависимое регулирование в индивидуальном тепловом пункте отсутствует, в переходный период (в зоне действия «излома» температурного графика) получают избыточное количество тепла [15, 16]. Потребителям, не оснащенными узлами коммерческого учета тепловой энергии, плата за теплоснабжение определяется по нормативу без учета фактического, в том числе сверхнормативного, потребления.

Количество потребленного тепла в системе теплоснабжения за месяц, определенное расчетно-приборным методом, приведено в таблице 7.

Таблица 7  
Table 7Количество потребленной тепловой энергии  
Quantity of consumed heat energy

Месяц	ТЭЦ-1		ТЭЦ-2	
	Отпуск теплоты $Q_{\text{от1}}$ , Гкал	Доля не оборудованных приборами учета абонентских систем отопления $\delta_1$	Отпуск теплоты $Q_{\text{от2}}$ , Гкал	Доля не оборудованных приборами учета абонентских систем отопления $\delta_2$
окт.22	150082	8,2%	103370	1,3%
апр.23	122305	7,9%	77998	1,9%

\*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author

Относительный тепловой поток определяют в зависимости от расчетной и текущей температуры внутреннего воздуха, соответствующей температуры наружного воздуха и температуры наружного воздуха, расчетной для проектирования отопления, по формуле

$$q_{\text{оij}}^{\text{откр(закр)}} = (t_{\text{вij}} - t_{\text{н.фj}}) / (t_{\text{в.р}} - t_{\text{н.о}}), \quad (19)$$

где  $t_{\text{вij}}$  – текущая температура внутреннего воздуха, °C;  $t_{\text{н.фj}}$  – фактическая температура наружного воздуха при определенной температуре теплоносителя, °C;  $t_{\text{в.р}}, t_{\text{н.о}}$  – расчетная температура соответственно внутреннего и наружного воздуха, °C.

При расчете относительного теплового потока учитывалось повышение температуры внутреннего воздуха в переходный период отопительного сезона в помещениях зданий с неавтоматизированными системами отопления.

Согласно температурному графику для системы теплоснабжения г. Ульяновска точка излома с параметрами теплоносителя в подающем трубопроводе равными 67, 73 и 74 °C должна выдерживаться при температуре наружного воздуха равной соответственно 2,96; 0,5 и 0,09 °C. С повышением температуры теплоносителя очевидно будет изменяться и фактическое теплопотребление абонентами, которое не будет оплачиваться потребителями с системами отопления, не оборудованными приборами учета тепловой энергии и теплоносителя. В этом случае определение потребленной тепловой энергии производится расчетным способом на основании утвержденных нормативов потребления тепловой энергии на отопление помещений, зданий и сооружений.

Расчет избыточно поставленного и нереализованного количества теплоты  $\Pi_{\text{пер1}}$ , руб., выполнен по уравнению (20)



$$P_{\text{пер}i} = \sum_{ij} Q_{\text{от}ij} \cdot \delta_{ij} \cdot (q_{\text{от}ij}^{\text{закр}} - q_{\text{от}ij}^{\text{откр}}) b_{\text{ти}} \cdot \Pi_{\text{ти}}, \quad (20)$$

где  $Q_{\text{от}ij}$  – отпуск теплоты, Гкал;  $q_{\text{от}ij}^{\text{закр}}, q_{\text{от}ij}^{\text{откр}}$  – соответственно относительный расход теплоты на отопление в закрытой и открытой системах;  $\delta_{ij}$  – доля не оборудованных приборами учета абонентских систем отопления.

Результаты расчета по уравнениям (19) и (20) приведены в таблице 8.

Таблица 8  
Table 8

Расход теплоты на отопление  
Heat consumption for heating

Месяц переходного периода	Температура наружного воздуха, °C	Относительный расход теплоты на отопление		
		Открытая	Закрытая	
			ТЭЦ-1	ТЭЦ-2
окт.22	6,3	0,305	0,343	0,338
апр.23	9,1	0,289	0,327	0,321
Увеличение объемов нереализованного потребленного тепла в переходный период, $\Pi_{\text{пер}}$ , млн.руб.			0,63	0,06

\*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author

#### Объем снижения выработки электроэнергии на тепловом потреблении.

Изменение температуры обратной сетевой воды приводит к пропорциональному изменению выработки электроэнергии на тепловом потреблении. При расчете изменения мощности теплофикационной турбины за счет изменения температуры обратной сетевой воды по методике [12, 17], изменение мощности турбины  $\Delta N_{\text{тур}}$ , кВт/МВт, можно определить в расчете на 1 МВт тепловой нагрузки отборов турбин

$$\Delta N_{\text{тур}} = 4 \cdot \Delta t_{\text{ос}} \cdot a \cdot \eta_{\text{эм}}, \quad (21)$$

где  $\Delta t_{\text{ос}} = |t_{\text{ос}}^{\text{баз}} - t_{\text{ос}}^{\text{изм}}|$  – разность между базовой  $t_{\text{ос}}^{\text{баз}}$  и измененной  $t_{\text{ос}}^{\text{изм}}$  температурой обратной сетевой воды, °C;  $a$  – термодинамический коэффициент, учитывающий связь между температурой насыщения и теплоперепадом в точках адиабатического процесса расширения пара в турбине, кВт/(кг·°C). При параметрах свежего пара  $P_{\text{п}}=12,8$  МПа и  $t_{\text{п}}=565^{\circ}\text{C}$  –  $a=0,95$ ;  $\eta_{\text{эм}}=0,98$  – электромеханический КПД турбогенератора.

С учетом изменения температуры обратной сетевой воды в переходный период согласно таблицам (5)-(6), уменьшение выработки электроэнергии на тепловом потреблении, определенное по уравнению (21) составит 13,03 кВт на МВт мощности отборов для ТЭЦ-1 и 3 кВт/МВт – для ТЭЦ-2.

При мощности нижнего отбора 56,08 Гкал/ч (65,22 МВт) уменьшение мощности турбины Т-100-130 на ТЭЦ-1 составит 849,8 кВт. За переходный период потенциальная недовыработка электроэнергии на тепловом потреблении составит 1223712 кВт·ч. При равновесной цене на электроэнергию 4,5 руб./кВт·ч коммерческий ущерб от недовыработки электроэнергии составит 5,5 млн. руб.

При мощности нижнего отбора 135 Гкал/ч (157 МВт) уменьшение мощности турбины Т-185-130 на ТЭЦ-2 составит 471 кВт. За переходный период потенциальная недовыработка электроэнергии на тепловом потреблении составит 678240 кВт·ч. При равновесной цене на электроэнергию 4,5 руб./кВт·ч коммерческий ущерб от недовыработки электроэнергии составит 3,1 млн. руб.

Суммарный годовой объем потенциальных убытков от сохранения закрытой схемы ГВС на 5-ти ЦТП в системе теплоснабжения от ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2 составляет более 88 млн. руб. Итоговые данные приведены в таблице 9.

Таблица 9  
Table 9

Размер экономического убытка по каждому технико-экономическому показателю

Size of economic loss for each technical and economic indicator

Наименование технико-экономического показателя	Размер убытка, млн. руб. в год	
	ТЭЦ-1	ТЭЦ-2
Увеличение коммерческих потерь, обусловленных применением нормативного коэффициента на подогрев ГВС, $\Pi_{\text{кп}}$	31,1	10,8
Снижение объемов реализации в летний период, $\Delta \Pi$	19,6	9,1
Увеличение тепловых потерь трубопроводами теплосети, $\Pi_{\text{тп}}$	5,9	2,7
Увеличение объемов нереализованного потребленного тепла в переходный период, $\Pi_{\text{пер}}$ , млн. руб.	0,63	0,06
Коммерческий ущерб от снижения выработки электроэнергии на тепловом потреблении	5,5	3,1
<b>Итого</b>	<b>62,8</b>	<b>25,8</b>

\*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author

Следует отметить, что в отечественном теплоснабжении в соответствии с требованием федерального законодательства продолжает действовать норма о необходимости подключения систем ГВС вновь построенных зданий и сооружений к действующим тепловым сетям только по закрытой схеме. Одним из преимуществ закрытых систем ГВС обозначается более высокое качество горячей воды по сравнению с открытыми системами. Личный опыт авторов по эксплуатации открытых и закрытых систем ГВС и опыт других специалистов [1-4] свидетельствует об отсутствии каких-либо преимуществ закрытых систем перед открытыми.

На наш взгляд, в одной системе теплоснабжения схема подключения систем ГВС должна быть одинаковой у всех существующих и вновь подключаемых или переключаемых потребителей. Это позволит избежать множества проблем, которые уже сейчас возникают из-за этого в действующих системах теплоснабжения, особенно в условиях широко распространенной точечной застройки в городах, и повысить экономическую привлекательность централизованного теплоснабжения.

### **Заключение (Conclusions)**

1. В отечественных системах теплоснабжения содержится значительный энергосберегающий потенциал, который возможно реализовать путем вывода из эксплуатации неэффективных котельных и переключения тепловой нагрузки на тепловые источники с комбинированной выработкой тепловой и электрической энергии.

2. Существенной особенностью, влияющей на экономическую эффективность такого переключения, является необходимость одновременно обеспечивать коммунальной услугой горячего водоснабжения в единой системе теплоснабжения потребителей, подключенных по открытой и закрытой схемам, в то время как режимные требования к этим системам различны.

3. В случае сохранения различных схем подключения потребительских систем горячего водоснабжения в системе теплоснабжения произойдет рост тепловых потерь во внутридомовых системах ГВС, обусловленный повышенным циркуляционным расходом; увеличатся технологические потери теплоты в тепловых сетях; уменьшится объем нереализованной теплоты в системах горячего водоснабжения в переходный период; снизятся объемы выработки электроэнергии на тепловом потреблении и реализованной теплоты на нужды горячего водоснабжения в межотопительный период.

4. Результаты выполненного технико-экономического исследования применительно к действующей открытой системе теплоснабжения г. Ульяновска свидетельствуют о ежегодных убытках в размере более 88 млн. руб., обусловленных переключением потребителей от котельных с закрытой схемой ГВС к централизованной открытой теплофикационной системе теплоснабжения, что подтверждает необходимость приведения всех схем подключения систем ГВС в одной системе теплоснабжения к одному типу.

### **Литература**

1. Колесников А.Н. О переходе от открытых систем теплоснабжения и ГВС к закрытым (в трактовке 190-ФЗ) // Новости теплоснабжения. 2014. № 11.
2. Шарапов В.И. Проблемы трансформации открытых систем теплоснабжения в закрытые // СОК. 2019. № 7. С. 43-47.
3. Шарапов В.И., Орлов М.Е., Замалеев М.М., Чаукин П.Е. Модернизация теплофикационных систем городов: цели и практика. Надежность и безопасность энергетики. № 3. 2018. С. 184-191.
4. Зубанов А.А. Оценка эффективности перевода системы теплоснабжения с открытой схемы на закрытую в реальных условиях // Новости теплоснабжения. 2019. № 3. С. 8-14.
5. Дыскин А.В., Хараим А.А. Переключение нагрузки с котельных на ТЭЦ как эффективный способ оптимизации системы теплоснабжения // Новости теплоснабжения. 2020. № 1. С. 22-26.
6. Гашо Е.Г., Пузаков В.С., Гужов С.В. Анализ проблем и тенденции развития систем теплоснабжения крупных городов России // Теплоэнергетика. 2021. № 3. С. 75-88.
7. Гашо Е.Г., Пузаков В.С. Схемы теплоснабжения российских городов и реальная жизнь // Новости теплоснабжения. 2020. № 2. С. 8-22.
8. Кикоть Е.А., Газизов Ф.Н. Выбор структуры тепловой генерации в городах РФ при актуализации схем теплоснабжения // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2020. №5. С. 71-82.
9. Газизов Ф.Н., Ахметова И.Г. Разработка методики и программы анализа вариантов перевода на закрытую схему ГВС системы теплоснабжения // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2019. №3. С. 126-134.
10. Rafalskaya T.A. Modeling of variable operating modes of water-to-water heat exchangers // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Science and Technology Conference. 2021. 1079. 022085.

11. Рафальская Т.А. Определение оптимального температурного перепада теплоносителей в теплообменниках систем теплоснабжения // Безопасность-2022. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Чита, 2022. С. 111-116.
12. Ротов П.В., Сивухин А.А., Ротова М.А., Гафуров Р.А., Горшков А.В. Об эффективности управления циркуляцией горячей воды // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22. № 6. С. 117-129.
13. Rotov P.V., Sivukhin A.A., Gafurov R. A., Rotova M.A. About standards for hot water heating // Journal of Physics: Conference Series. 2020. 1683. 042017.
14. Rotov P.V., Rotova M.A., Gafurov R. A., Sivukhin A.A., Gorshkov A.V. Circulation management in hot water supply systems // Journal of Physics: Conference Series. 12. Сер. "XII All Russian Conference "Thermophysics and Power Engineering in Academic Centers", TPEAC 2021" 2022. С. 012034.
15. Горинов Ю.А., Анисимов П.Н., Егшин Е.В. Модернизация городских индивидуальных тепловых пунктов // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2023. Т. 25. № 6. С. 43-53.
16. Ротов П.В. О зонировании температурного графика центрального регулирования нагрузки теплофикационных систем // Промышленная энергетика. 2013. № 6. С. 21-25.
17. Яковлев Б.В. Повышение эффективности систем теплофикации и теплоснабжения / Б.В. Яковлев. – М. : Новости теплоснабжения, 2008. – 448 с.

### Авторы публикации

**Ротов Павел Валерьевич** – д-р техн. наук, профессор кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция им. В.И. Шарапова», Ульяновский государственный технический университет. *ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6228-6401>, [p.rotov@rambler.ru](mailto:p.rotov@rambler.ru)*

**Горшков Алексей Викторович** – руководитель группы режимов и наладки филиала «Ульяновский» ПАО «Т Плюс».

**Ротова Марина Александровна** – канд. техн. наук, доцент кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция им. В.И. Шарапова», Ульяновский государственный технический университет.

### References

1. Kolesnikov A.N. On the transition from open heat supply and hot water supply systems to closed ones (as interpreted 190-FZ) // Heat Supply News. 2014. № 11.
2. Sharapov V.I. Problems of transformation of open heat supply systems into closed // Plumbing. Heating. Conditioning. 2019. № 7. p. 43-47.
3. Sharapov V.I., Orlov M.E., Zamaleev M.M., Chaukin P.E. Modernization of heating systems of cities: goals and practices. Energy reliability and safety. № 3. 2018. P. 184-191.
4. Zubanov A.A. Assessment of the efficiency of the transfer of the heat supply system from an open scheme to a closed one in real conditions//Heat Supply News. 2019. № 3. p. 8-14.
5. Dyskin A.V., Kharaim A.A. Switching the load from boiler houses to thermal power plants as an effective way to optimize the heat supply system//Heat Supply News. 2020. № 1. p. 22-26.
6. Gasho E.G., Puzakov V.S., Guzhov S.V. Analysis of problems and trends in the development of heat supply systems in large cities of Russia//Teploenergetika. 2021. № 3. p. 75-88.
7. Gasho E.G., Puzakov V.S. Heat supply schemes of Russian cities and real life//Heat Supply News. 2020. № 2. p. 8-22.
8. Kikot E. A., Gazizov F. N. Choosing the structure of thermal generation in Russian cities when updating heat supply schemes // News of higher educational institutions. ENERGY PROBLEMS. 2020. T22(5). p. 71-82. <http://doi:10.30724/1998-9903-2020-22-5-71-82>
9. Gazizov F.N., Akhmetova I.G. Development of a methodology and program for analyzing options for transferring to a closed hot water supply system scheme. News of higher educational institutions. ENERGY PROBLEMS. 2019. №3. p. 126-134. <http://doi:10.30724/1998-9903-2019-21-3-126-134>.
10. Rafalskaya T.A. Modeling of variable operating modes of water-to-water heat exchangers // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Science and Technology Conference. 2021. 1079. 022085.
11. Rafalskaya T.A. Determination of the optimal temperature difference of coolants in heat exchangers of heat supply systems//Safety-2022. Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference. Chita, 2022. p. 111-116.
12. Rotov P.V., Sivukhin A.A., Rotova M.A., Gafurov R.A., Gorshkov A.V. On the effectiveness of hot water circulation management// News of higher educational institutions. ENERGY PROBLEMS. 2020. VOL. 22. № 6. p. 117-129. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2020-22-6-117-129>

13. Rotov P.V., Sivukhin A.A., Gafurov R. A., Rotova M.A. About standards for hot water heating // Journal of Physics: Conference Series . 2020. 1683. 042017.
14. Rotov P.V., Rotova M.A., Gafurov R. A., Sivukhin A.A., Gorshkov A.V. Circulation management in hot water supply systems // Journal of Physics: Conference Series. 12. Сер. "XII All Russian Conference "Thermophysics and Power Engineering in Academic Centers", TPEAC 2021" 2022. С. 012034.
15. Gorinov Yu.A., Anisimov P.N., Egoshin E.V. Modernization of urban individual heating points// News of higher educational institutions. ENERGY PROBLEMS. 2023. VOL. 25. № 6. S. 43-53. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2023-25-6-43-53>
16. Rotov P.V. On the zoning of the temperature schedule of the central regulation of the load of heating systems//Industrial power engineering. 2013. № 6. S. 21-25.
17. Yakovlev B.V. Improving the efficiency of heating and heat supply systems/B.V. Yakovlev. - М.: Heat supply news. 2008. 448 p.

#### **Authors of the publication**

**Pavel V. Rotov** – Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk, Russia. *ORCID:* <https://orcid.org/0000-0001-6228-6401>, [p.rotov@rambler.ru](mailto:p.rotov@rambler.ru)

**Alexey V. Gorshkov** – PJSC T Plus, Ulyanovsk branch, Ulyanovsk, Russia.

**Marina A. Rotova** – Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk, Russia.

*Шифр научной специальности: 2.4.5. Энергетические системы и комплексы*

<b>Получено</b>	<b>23.05.2024 г.</b>
<b>Отредактировано</b>	<b>30.05.2024 г.</b>
<b>Принято</b>	<b>02.09.2024 г.</b>