

ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ / REVIEW ARTICLE

УДК 628.8

DOI: 10.22227/1997-0935.2023.9.1451-1465

Применение электрических котлов для водяного поквартирного теплоснабжения

Алексей Леонидович Торопов*Инженерный центр «Апрель» (ИЦ «Апрель»); г. Москва, Россия*

АННОТАЦИЯ

Введение. Под поквартирным теплоснабжением (ПТ) понимается обеспечение теплом систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения квартир. В настоящее время в качестве теплогенераторов для ПТ применяются настенные конвекционные газовые котлы. Дано сравнение энергетических, экологических, экономических показателей автономной системы теплоснабжения при замене газовых теплогенераторов на электрические. Рассмотрены вопросы безопасности работы оборудования и затраты на сервисное обслуживание. Предложены конструктивные и архитектурные решения размещения оборудования.

Материалы и методы. Используются официальные данные Росстата РФ, доклады министерства энергетики, министерства экономического развития, действующие ГОСТы и нормативные документы расчета теплопотерь через ограждающие конструкции. Расчеты проводились методами математического моделирования.

Результаты. Суммарная мощность потребления электрической энергии квартирного домохозяйства, включая электрическое теплоснабжение, не превышает 15 кВт·ч. Вопрос пикового кратковременного превышения выделенной мощности и срабатывания устройств автоматического отключения электрического питания домохозяйства решается установкой приоритетного распределения выделенной мощности. Углеродоемкость производства тепловой мощности электрическими котлами не превышает общую среднюю эмиссию CO₂ теплогенераторами на углеводородном топливе. При использовании тарифов на электроэнергию для домов с электроплитами суммарные затраты на теплоснабжение электрокотлами не превышают нормативов оплаты централизованного теплоснабжения многоквартирных домов. Исключены взрывы и отравление газом.

Выводы. Автономное электрическое теплоснабжение квартирных домохозяйств имеет ряд преимуществ по сравнению с поквартирным теплоснабжением на основе газовых теплогенераторов и централизованным теплоснабжением с котельными на газовом, угольном и жидком топливе. В связи с тем, что тарифы на электроэнергию, централизованное теплоснабжение, снабжение газом в регионах РФ изменяются многократно, климатические и экологические условия разные, целесообразно сделать расчет эффективности применения электрического теплоснабжения отдельно для каждого субъекта РФ.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: поквартирное теплоснабжение, электрический котел, углеродоемкость, углеродный след, центральное отопление, автономное теплоснабжение, тепловой узел

Благодарности. Автор благодарит рецензентов за замечания по стилю изложения и научно-технической сути, способствующие более глубокому раскрытию темы научной работы.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Торопов А.Л. Применение электрических котлов для водяного поквартирного теплоснабжения // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. Вып. 9. С. 1451–1465. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.9.1451-1465

Автор, ответственный за переписку: Алексей Леонидович Торопов, toropov@aprilgroup.ru.

Application of electric boilers for water apartment heat supply

Alexey L. Toropov*Engineering Center “April”; Moscow, Russian Federation*

ABSTRACT

Introduction. Apartment heat supply refers to the provision of heat to the heating, ventilation and hot water supply systems of apartments. At the present time, wall convection gas boilers are used as heat generators for apartment heat supply. Comparison of energy, ecological, economic indicators of autonomous heat supply system when replacing gas heat generators with electric ones is given. The issues of equipment safety and costs of service maintenance are considered. Constructive and architectural solutions of equipment placement are proposed.

Materials and methods. Official data of Rosstat of the Russian Federation, reports of the Ministry of Energy, the Ministry of Economic Development, current GOSTs and regulatory documents for calculation of heat loss through enclosing structures are used. Calculations were carried out by methods of mathematical modelling.

Results. The total power consumption capacity of an apartment household, including electric heat supply, does not exceed 15 kWh. The issue of peak short-term exceeding of the allocated power and the operation of devices for automatic shutdown of household electrical power is solved by setting priority distribution of the allocated power. The carbon intensity of heat power production by electric boilers does not exceed the total average CO₂ emission of hydrocarbon fuel heat generators. When using electricity tariffs for houses with electric stoves, the total cost of heat supply by electric boilers does not exceed

the standards of payment for district heating of multi-storey buildings. Explosions and gas poisoning are excluded.

Conclusions. Autonomous electric heat supply of apartment households has a number of advantages in comparison with apartment heating based on gas heat generators and centralized heating with boilers on gas, coal and liquid fuel. Due to the fact that tariffs for electricity, district heating, gas supply in the regions of the Russian Federation change many times, climatic and environmental conditions are different, it is advisable to calculate the efficiency of the use of electric heat supply separately for each subject of the Russian Federation.

KEYWORDS: apartment heat supply, electric boiler, carbon intensity, carbon footprint, central heating, autonomous heat supply, heating unit

Acknowledgements. The author thanks the reviewers for their comments, both in terms of the style of presentation and the scientific and technical essence, which contribute to a deeper disclosure of the topic of scientific work.

FOR CITATION: Torpov A.L. Application of electric boilers for water apartment heat supply. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2023; 18(9):1451-1465. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.9.1451-1465 (rus.).

Corresponding author: Alexey L. Torpov, torpov@aprilgroup.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Теплоснабжение помещений электрической энергией с непосредственной трансформацией ее в тепловую энергию до последнего времени не приветствовалось действующей нормативной базой в связи с низким коэффициентом полезного действия (КПД) ее первичного использования. Считается, что отопление электричеством — самый дорогой способ поддержания температуры в помещении. Фактически указанные выше заявления являлись категорическим императивом — безусловным принципом проектирования систем теплоснабжения многоквартирных, многоэтажных домов. Рассмотрим насколько безусловно применение электрического водяного котла в системах поквартирного теплоснабжения (ПТ). Под поквартирным теплоснабжением понимается обеспечение теплом систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения квартир. Система состоит из источника теплоснабжения — теплогенератора, трубопроводов горячего водоснабжения с водоразборной арматурой, трубопроводов отопления с отопительными приборами внутри квартиры¹ [1]. В общем случае рассматриваются энергетические, экологические и экономические требования, безопасность эксплуатации, стоимость обслуживания с точки зрения конечного потребителя.

Первое требование — положительный баланс между выделяемой нормой электрической энергии на квартиру и суммарным потреблением электрической энергии всеми электрическими приборами, включая энергию на отопление и подготовку горячей воды. В качестве предельной нормы потребления электроэнергии квартиры обозначим 15 кВт·ч (360 кВт·ч/сут), поскольку данное значение определено как максимальное, не требующее разрешений на установку электрического теплового генератора. Достаточно обеспечить отдельный кабельный ввод для его питания². Согласно данным Росстата, в Российской Федерации в 2021 г. эксплуатировалось 70,2 млн квартир. В данное количество входят не только квартиры жилого фонда, но и квартиры нежилых помещений, общежитий, гостиниц, апартаменты³. Средний размер общей площади всех эксплуатируемых квартир в 2021 г. составил 56,9 м², средняя площадь квартир, построенных после 2021 г. в многоквартирных домах, — 51,5 м² и последние годы постоянно уменьшается⁴ [2]. Для расчета потребления горячей воды квартирным домохозяйством прием норму потребления горячей воды в день 150 л на чел. и среднее количество проживающих в городском домохозяйстве 2,1 чел. [3–5]. При этих условиях потребление электрической энергии для нагрева горячей воды на квартиру до температуры 55 °С составит 14,7 кВт·ч/сут (вариант использования накопительного водонагревателя). Потребление электрической энергии домохозяйством носит иерархический характер, базирующийся на обеспечении социальных и физиологических потребностей человека и технических характеристиках помещений, бытовых устройств и системы теплоснабжения. Иерархия в виде пирамиды распределения выделенной энергии представлена в работах [6, 7].

Второе требование — минимизация экологического воздействия на атмосферу Земли. Считается, что электрическое теплоснабжение домовладений имеет более высокий углеродный след, чем при отоплении с применением углеводородных тепловых генераторов. Это заявление базируется на низком КПД преобразования первичной энергии в электрическую, который принимают равным 30–35 % [8]. Структура потребления первичной энергии в каждой стране формируется ее историко-технологическим развитием. По данным на 2018 г. в РФ доля газа составляет 60 %, угля — 16 %, нефтепродуктов — 13 %, ядерного топлива — 8 %, гидроэнергии — 3 %, всех видов возобновляемых

энергии в электрическую, который принимают равным 30–35 % [8]. Структура потребления первичной энергии в каждой стране формируется ее историко-технологическим развитием. По данным на 2018 г. в РФ доля газа составляет 60 %, угля — 16 %, нефтепродуктов — 13 %, ядерного топлива — 8 %, гидроэнергии — 3 %, всех видов возобновляемых

¹ СП 41-108–2004. Поквартирное теплоснабжение жилых зданий с теплогенераторами на газовом топливе. М. : ФГУП ЦПП, 2004. 15 с.

² О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам совершенствования порядка технологического присоединения потребителей к электрическим сетям : Постановление Правительства РФ от 21.04.2009 № 334 // Российская газета. 26 мая 2009.

³ Федеральная служба государственной статистики. Жилищные условия. URL: https://rosstat.gov.ru/statistics/zhilishhnye_usloviya

⁴ Федеральная служба государственной статистики. Жилищное хозяйство в России 2022. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Jil_hoz_2022.pdf

источников энергии — 0,03 %⁵. В качестве критерия для сравнения эмиссии CO₂ при выработке 1 кВт тепловой энергии электрическим теплогенератором возьмем количество выбросов CO₂ на 1 кВт тепла, полученного при сжигании природного газа, равное 197 г [9, 10]. Данные по эмиссии парниковых газов при выработке 1 кВт электроэнергии в каждой стране разные. Этот показатель зависит от вида топлива, использованного для получения электрической энергии. По информации Международного энергетического агентства (МЭА), генерация в мире с 2010 по 2018 гг. выросла на 23,8 %, до 27,7 трлн кВт·ч, а углеродоемкость за этот же период снизилась на 10,4 %, до 475 г CO₂/кВт·ч⁶. В период с 2010 по 2016 гг. углеродоемкость российской электроэнергии сократилась на 59,5 г CO₂/кВт·ч до 358 г CO₂/кВт·ч (–9 %), что эквивалентно снижению выбросов CO₂ в электроэнергетике за указанный период на 42,7 млн т (–10 %) при увеличении ее выработки на 51 млрд кВт·ч (+5 %) [11]. В составе выбросов преобладает CO₂, на него в 2018 г. приходилось 85,7 % всех выбросов по сектору. Вклады CH₄ и N₂O составили 14,0 и 0,3 % соответственно [12]. Согласно данным, представленным в работе⁷, в 2021 г. общая годовая выработка 1 кВт·ч электроэнергии в США электростанциями коммунального масштаба происходила при выбросе CO₂, равном 388 г на кВт·ч. В Китае — 635 г CO₂/кВт·ч, в Индии — 730 г CO₂/кВт·ч.

Для сравнения экономических затрат на отопление рассмотрим тарифы на отопление и электроэнергию. По сведениям Федеральной службы государственной статистики по регионам России с 1 декабря 2022 г. тарифы на тепловую энергию составили от 1261,38 до 3719,23 руб/Гкал. В среднем по РФ тариф на тепловую энергию — 2429,74 руб/Гкал⁸. Наибольшие тарифы на тепловую энергию установлены в следующих регионах Дальневосточного, Сибирского и Северо-Западного округов: Камчатский край — 3719,23 руб/Гкал, Еврейская автономная область — 3482,62 руб/Гкал, Республика Алтай — 3447,96 руб/Гкал, Мурман-

ская область — 3435,13 руб/Гкал. Наименьшие тарифы действуют на территории регионов Северо-Кавказского и Сибирского округов: Республика Ингушетия — 1261,38 руб/Гкал, Кемеровская область — 1431,98 руб/Гкал, Республика Дагестан — 1544,16 руб/Гкал, Иркутская область — 1552,61 руб/Гкал. Средняя стоимость кубометра горячей воды составляет 186,04 руб. Среднестатистическая норма на одного человека по потреблению горячей воды в России — 166 л/сут⁹. В среднем норматив потребления Гкал на 1 м² при расчете оплаты отопления равняется 0,0342 Гкал/мес. Данное значение может меняться в различных регионах, так как зависит от климатических условий¹⁰. Газ используется как вид углеводородного топлива, для систем теплоснабжения индивидуальных домов, поквартирного теплоснабжения многоэтажных многоквартирных домов, котельных систем теплоснабжения. Вопросы безопасности и надежности эксплуатации газового оборудования жилых зданий рассмотрены в трудах [13–16]. Аварийные ситуации, связанные с эксплуатацией внутридомового и внутриквартирного газового оборудования, приводят к жертвам среди населения — 80 % погибают от отравления, 20 % при взрывах газозудной смеси, вызывающих разрушения зданий. Централизованное теплоснабжение многоквартирных домов исключает возможность возникновения жертв, связанных с эксплуатацией газовых внутридомовых сетей и оборудования, из-за их отсутствия. При данном типе теплоснабжения возможны аварии в сетях газораспределения и тепловых сетях теплоснабжения, связанные с износом коммунальных сетей (тепловых — 62,8 %, водопроводных — 64,8 %). В некоторых муниципальных образованиях износ коммунальных сетей составляет 95 %, потери коммунальных ресурсов до 40 % воды, 50 % тепла в зависимости от населенного пункта [17–20].

Цель исследования — определить возможности использования электрических тепловых генераторов в системах теплоснабжения городских домохозяйств или индивидуальных домов аналогичной площади с точки зрения их сравнения с теплогенераторами на углеводородном топливе и централизованным теплоснабжением тепловой электростанции (ТЭС); выполнить сравнение по энергетическим, экологическим, экономическим требованиям, безопасности эксплуатации, стоимости обслуживания; предложить схемы автономных индивидуальных и коллективных тепловых узлов, архитектурно-планировочных решений их размещения.

⁹ Норматив потребления воды в 2023 году на 1 человека без счетчика. URL: <https://domstrousam.ru/> -normativ-potrebleniya-vody/

¹⁰ Расход тепла на отопление 1 кв м. URL: <https://teplosten24.ru/rashod-tepla-na-otoplenie-1-kv-m.html>

⁵ Государственный доклад о состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в Российской Федерации за 2020 год // Министерство экономического развития Российской Федерации. М., 2020. URL: <https://www.economy.gov.ru/material/file/c3901dba442f8e361d68bc019d7ee83f/Energyefficiency2020.pdf>

⁶ IEA 2022. World Energy Outlook 2022. License: CC BY 4.0 (report); CC BY NC SA 4.0 (Annex A). IEA, Paris. URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>

⁷ How much carbon dioxide is produced per kilowatthour of U.S. electricity generation? // U.S. Energy Information Administration. URL: <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=74&t=11>

⁸ Тарифы на тепловую энергию в 2023 году. URL: <https://p4energy.ru/2023/03/ts2022-2/>

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Используются официальные данные Росстата РФ, доклады министерства энергетики, министерства экономического развития, действующие ГОСТы и нормативные документы расчета теплопотерь через ограждающие конструкции. В качестве примера для анализа взята двухкомнатная квартира с кухней, площадью 46 м² в восьмиэтажном кирпичном доме в г. Санкт-Петербурге [21] при температуре атмосферы –24 °С, температуре в квартире +20 °С. Расчеты проводились методами математического моделирования. Площадь и параметры теплоизоляции ограждающей конструкции рассматриваемого примера близки к среднестатистическим квартирам.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для указанной выше квартиры площадью 46 м² при проживании 4-х человек, температуре атмосферы –24 °С, температуре в квартире +20 °С суммарные тепловые потери составляют 2415 Вт, потери за счет инфильтрации воздуха — 457 Вт. Теплоотдача от бытовых приборов — 487 Вт, от людей — 90 Вт. Общая тепловая потребность квартиры составит величину: $Q_{\text{пот}} = 2415 + 457 - 487 - 90 = 2295$ Вт. Рассчитанная тепловая потребность для отопления квартиры определена для температуры –24 °С, что соответствует температуре самой холодной пятидневки для места расположения квартиры (г. Санкт-Петербург) согласно СНиП 23.01–99*¹¹. Из архива климатических данных по Санкт-Петербургу¹² следует, что для города самым холодным месяцем является январь со сред-

¹¹ СНиП 23.01–99*. Строительная климатология (с Изм. № 1): введ. 01.01.2000. М.: Госстрой России; ГУП ЦПП, 2003.

¹² Отопительный период, архивы и статистика. Ленинградская область. Санкт-Петербург // Climate-Energy. URL: climate-energy.ru

ней минимальной температурой –6,2 °С, а средняя минимальная температура наружного воздуха отопительного сезона составляет –2,2 °С. Расчет, выполненный по существующим методикам и государственным стандартам, показывает, что тепловая потребность квартиры на отопление не превышает 2,3 кВт·ч (55,2 кВт·ч/сут) при экстремально низких температурах и 1,15 кВт·ч (27,6 кВт·ч/сут) при средних температурах отопительного периода, что составляет 1200 и 600 Вт/м² в сутки соответственно. Для средней площади квартир 51,5 м² максимальное суточное потребление электрической энергии на отопление составит 61,8 кВт.

Энергетическое сравнение

Распределение потребления электрической энергии домохозяйством носит иерархический характер. Структура потребления в виде пирамиды потребностей представлена на рис. 1. Верхний уровень — безотлагательные потребности, без которых в современном мире невозможно существование. Это: освещение, безопасность и защищенность, необходимость обмена информацией.

Второй верхний уровень пирамиды относится к приборам для обеспечения физиологических и социальных потребностей человека — мелкая бытовая техника. Третий уровень пирамиды потребления электрической энергии — крупная бытовая техника. Четвертый и пятый уровни пирамиды потребления электрической энергии домохозяйства связаны с системами теплоснабжения и понятием тепловой инерционности зданий. Шестой уровень — приборы низшего приоритета, обеспечиваются энергией по остаточному принципу. Общее суточное потребление энергии составляет 65–200 кВт/сут при выделенной лимитированной электрической мощности 360 кВт. В таблице представлена информация по суммарным среднесуточным потребностям элек-

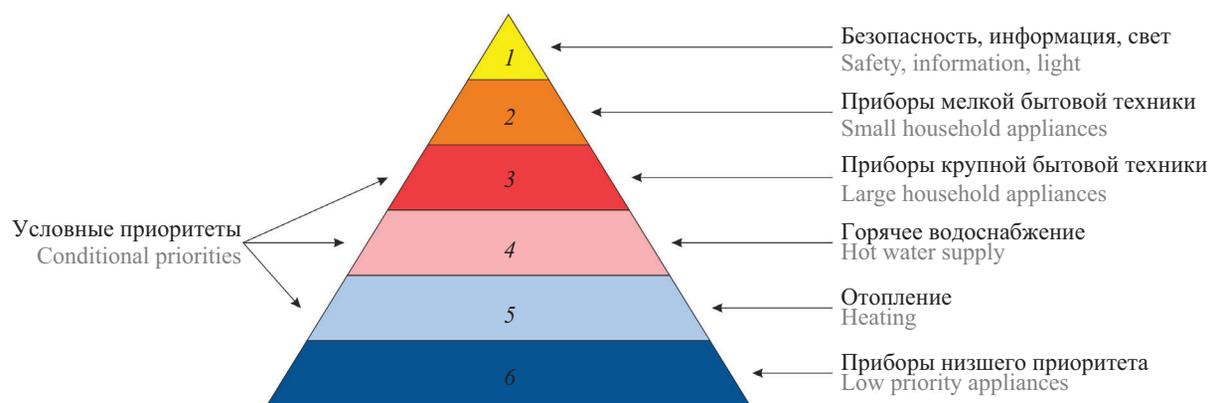


Рис. 1. Структура уровней распределения электрической энергии: 1 — безопасность, информация, свет (10 кВт/сут); 2 — приборы мелкой бытовой техники (12 кВт/сут); 3 — приборы крупной бытовой техники (70 кВт/сут); 4 — горячее водоснабжение (7–35 кВт/сут); 5 — отопление (45–100 кВт/сут); 6 — приборы низшего приоритета (остаточный принцип)

Fig. 1. Structure of electricity distribution levels: 1 — safety, information, light (10 kW/day); 2 — small household appliances (12 kW/day); 3 — large household appliances (70 kW/day); 4 — hot water supply (7–35 kW/day); 5 — heating (45–100 kW/day); 6 — low priority appliances (residual principle)

Среднесуточное потребление электрической энергии квартирным домовладением с учетом теплоснабжения при минимальных температурах атмосферы

Average daily electricity consumption by flat block including heat supply at minimum atmospheric temperatures

Количество комнат Number of rooms	1	2	3	4 и более / 4 or more
Средний размер, м ² Average size, m ²	36,7	50,0	67,8	112,0
Доля в жилом фонде, % Share in housing stock, %	18,0	26,7	19,4	5,8
Количество жителей в домовладении Number of residents in the household	1	2	4	5
Среднесуточное потребление энергии, кВт Average daily energy consumption, kW	75	105	145	200

трической энергии в зимний период времени года для квартир с разным количеством комнат и жителей. Данные соответствуют минимальным температурам. Статистические сведения по долям квартир в РФ на 2021 г. заимствованы из отчета Росстата.

На основании указанного выше требование положительного баланса выделенной электрической мощности и суммарной мощности потребления энергии квартирного домохозяйства при электрическом теплоснабжении выполняется даже при четырехкомнатном домохозяйстве. Вопрос пикового кратковременного превышения выделенной мощности и срабатывания устройств автоматического отключения электрического питания домохозяйства решается установкой приоритетного распределения выделенной мощности [6].

Экологическое сравнение

Преобразование электрической энергии в тепловую во всем диапазоне потребления энергии происходит со средним КПД, равным 98 % [22, 23]. Соответственно, для РФ на основании данных баланса производства электрической энергии 2019 г. при использовании электрических котлов для генерации тепловой мощности в автономных системах теплоснабжения углеродоемкость производства 1 кВт·ч тепловой энергии составит 365 г CO₂. В многоэтажных домах применяют поквартирное теплоснабжение с использованием настенных газовых котлов [24–30], централизованное и децентрализованное теплоснабжение с источниками тепловой энергии от ТЭЦ и котельных. При ПТ применяются конвекционные настенные газовые котлы. Энергоэффективность настенных конвекционных котлов при номинальной нагрузке составляет 80–82 % по высшей теплотворной способности (GCV), соответственно, преобразование энергии сгорания природного газа в тепловую энергию, передаваемую отопительным приборам, происходит с выделением 250 г CO₂/кВт·ч. При расчете углеродоемкости производства 1 кВт·ч тепловой энергии для ПТ при работе газового котла в циклическом режиме, характерного для работы при избыточной мощности в режиме отопления, энергоэффективность газового котла снижается до 60 %

GCV, что приводит к увеличению выбросов до 328 г CO₂/кВт·ч. Это незначительно ниже эмиссии CO₂ при генерации тепла электрическими теплогенераторами. При анализе эмиссии CO₂ газовых котлов, используемых в многоквартирных многоэтажных домах, необходимо рассматривать весь жизненный цикл оборудования и систем. Использование газовых котлов в каждой квартире требует обустройства многоэтажных домов системами дымоудаления, подвода воздуха для обеспечения режимов горения, внутренних и внешних трубопроводов снабжения котлов природным газом, которые в системах с электрической генерацией тепла отсутствуют. С учетом эмиссии CO₂ при производстве материалов указанных систем, их установке и эксплуатации можно заявить о паритете энологического воздействия на атмосферу Земли при рассмотрении автономного поквартирного теплоснабжения многоэтажных многоквартирных домов при применении газовых настенных и электрических теплогенераторов. При анализе углеродоемкости централизованного теплоснабжения (ЦТ) многоэтажных домов с использованием котельных в качестве источника тепла необходимо учитывать, что большинство котельных работает на газе (в 2020 г. их доля составила почти 63 %), преимущественно котельные мощностью свыше 20 Гкал/ч. Доля котельных, работающих на твердом топливе (угле), — 29,8 %. Доля котельных на жидком топливе и дровах и прочем топливе — 2,6 и 4,9 % соответственно. В общей структуре тепловой мощности доля ТЭС составляет 31 %, а доля котельных — 69 %¹³. По газу соотношение объемов выбросов CO₂ и количества энергии, потребленной за год, по данным МЭА, составляет 400 г CO₂/кВт·ч, по нефти — 600 г CO₂/кВт·ч, углю в зависимости его от типа — 845–1020 г CO₂/кВт·ч. Соответственно, выработка тепловой энергии районными котельными сопровождается эмиссией CO₂ выше, чем эмиссия CO₂ при выработке тепловой

¹³ Доклад о состоянии теплоэнергетики и централизованного теплоснабжения в Российской Федерации в 2020 году // Министерство энергетики РФ. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/22832>

энергии электрической теплогенерацией. В связи с тем, что доля котельных в структуре тепловой мощности централизованного теплоснабжения постоянно растет, можно сделать вывод, что в случае перехода на электрическую генерацию тепловой мощности при поквартирном теплоснабжении многоэтажных домов углеродоемкость производства тепловой энергии в целом по стране не увеличится. При замене котельных центрального отопления многоэтажных домов, работающих на угле, на электрическую тепловую генерацию углеродоемкость эмиссии CO₂ снижается до двух-трех раз.

Сравнение экономических показателей

При пересчете на среднюю площадь квартирного домохозяйства 56,9 м² и количество проживающих 2,1 чел. из среднего показателя оплаты отопления 0,0342 Гкал/м² в месяц получается, что на отопление в среднем тратится 1,946 Гкал. На снабжение горячей водой, исходя из средней стоимости кубометра горячей воды 186,04 руб. на чел., средней нормы потребления горячей воды 166 л/сут, затраты составляют на домохозяйство 930 руб./мес. Средняя стоимость однотарифной электроэнергии для населения по РФ составляет 4 руб./кВт, причем самый низкий тариф в Иркутской области — 1,23 руб./кВт, а самый высокий в Чукотском автономном округе — 8,82 руб./кВт^{14, 15}. Тарифы для сельской местности и ночные тарифы значительно ниже. Если рассматривать средний тариф для городов по РФ, то стоимость отопления среднего квартирного домохозяйства составляет с централизованным теплоснабжением 4728 руб., ГВС — 930 руб., в сумме — 5658 руб./мес. При поквартирном теплоснабжении с использованием настенного газового котла расчет затрат на отопление и горячую воду основан на стоимости газа, КПД газового котла и теплотворной способности газа. Средняя потребительская стоимость сетевого газа по России — 6,27 руб. за кубический метр¹⁶, КПД настенного газового котла 80 % GCV для ГВС и 60 % GCV при отоплении, 1 м³ природного газа выделяет при сгорании 10 кВт тепловой энергии. С учетом указанных показателей среднее квартирное домохозяйство в месяц отопительного периода потребляет на отопление в среднем 1940 руб. и 385 руб. на ГВС, в сумме — 2325 руб.

При использовании электрического теплоснабжения, при стоимости 4 руб./кВт затраты аналогичного квартирного домохозяйства составляют

¹⁴ Тарифы на электроэнергию на 2023 год. URL: <https://energoseti.ru/rates>

¹⁵ Сколько стоит электроэнергия в 2023 году: тарифы на свет, повышение цен. URL: <https://skolko-stoit.ru/skolko-stoit-elektroenergiya/>

¹⁶ Тарифы на газ для населения с 1 декабря 2022 года. Все категории потребителей, оплата по счетчику и по нормативу. URL: <https://energovopros.ru/issledovaniya/2335/3079/43136/>

5688 руб./мес на отопление и 1766 руб. на ГВС, в сумме на теплоснабжение расходуется 7454 руб. Соотношение затрат на оплату услуг по теплоснабжению в пользу существующего ЦТ в 1,32 раза (на 32 % дешевле). По отношению к поквартирному теплоснабжению с применением настенных газовых котлов электрическое теплоснабжение дороже в 3,25 раза. Но эксплуатационные затраты на сервис настенных газовых котлов целиком перекадываются на конечного потребителя. А также сервисный договор на обслуживание для соблюдения гарантийных обязательств завода-изготовителя и вопросы ремонта и стоимости запасных частей. При распространении тарифов на электрическое теплоснабжение на тарифы для домов с электроплитами (все многоквартирные дома новой постройки имеют электрические плиты) или к сельской местности указанные значения затрат на электрическое теплоснабжение снижаются в среднем до 3412 руб. за отопление, 1059 руб. за ГВС, в сумме — до 4472 руб. В этом случае стоимость электрического теплоснабжения дороже в 1,92 раза по отношению к настенным газовым котлам, но на 21 % ниже ЦТ. Без учета затрат на сервис. Необходимо отметить, что данные соотношения представлены для средних по стране значений. При сравнении электрического индивидуального и централизованного или газового поквартирного теплоснабжения для разных субъектов РФ результаты могут быть противоположными. При тарифе за электроэнергию 1,23 руб./кВт для Иркутской области стоимость электрического теплоснабжения составит около 2500 руб./мес, а поквартирного теплоснабжения при использовании настенных газовых котлов около 3000 руб./мес. Электрическое теплоснабжение получается дешевле и газового поквартирного, и централизованного.

Безопасность эксплуатации и затраты на сервисное обслуживание

Коммунальные сети теплоснабжения при электрическом поквартирном теплоснабжении отсутствуют, соответственно, отсутствуют вопросы аварий, жертв и разрушений. В связи с тем, что норма выделенной электрической энергии на квартирное домовладение, равная 15 кВт, не превышена, то вопрос дополнительных рисков, связанных с потреблением электрической энергии и состоянием электрических коммунальных сетей, не рассматривается. В случае необходимости дополнительного выделения электрической мощности на многоквартирное здание при решении о переходе на электрическое теплоснабжение при реконструкции старых зданий и коммунальных сетей затраты на реконструкцию электроснабжения значительно ниже затрат на теплоснабжение. Дополнительных затрат на сервисное обслуживание коммунальных электрических сетей при переходе на электрическое теплоснабжение нет. Вопрос возникновения пожаров, возникших именно от неисправности проводки

питания электрических котлов, не рассматривается, поскольку не превышает норму 15 кВт выделенной электроэнергии на квартирное домохозяйство. Затраты на сервис и стоимость запасных частей автономных систем теплоснабжения целиком перекладываются на конечного покупателя. Наибольшие затраты в варианте ПТ с настенными газовыми котлами. Есть затраты на сервис внутридомовых и внутриквартирных газовых сетей, систем дымоудаления и подачи воздуха, сервисное обслуживание и ремонт теплового агрегата и деталей контура циркуляции теплоносителя [31–34]. Срок службы настенных газовых котлов последние годы снижается и составляет около семи лет. Замена котельного оборудования также перекладывается на конечного пользователя. Суммы годового сервисного договора на обслуживание газовых котлов ПТ составляют не менее 15 % от средней суммы оплаты тарифов за год. При расчете суммарных затрат на ПТ следует учитывать затраты на сервис, ремонт и замену оборудования после окончания срока эксплуатации. Все затраты на перечисленные составляющие у ПТ с настенными газовыми котлами составляют около 30 % от стоимости оплаты газа для теплоснабжения. Соответственно, экономическая выгода варианта ПТ с настенными газовыми котлами снижается на 30 %. Эксплуатация ПТ с электрическим теплоснабжением также перекладывается на конечного пользова-

теля, но от него не требуются внутренние домовые газовые сети и системы дымоудаления и подвода воздуха. Срок службы электрического котла выше газового, и сервисные работы дешевле.

Результаты сравнительного анализа в обобщенном виде можно представить в виде круговой диаграммы. По каждому рассматриваемому параметру значения указаны в относительных единицах к наибольшему значению. В диаграмме представлены относительные значения энергетики, экологии, экономики, безопасности, затрат на обслуживание для поквартирного теплоснабжения с использованием газового настенного котла, ПТ с применением электрического котла, ЦТ с использованием котельных на газовом топливе, ЦТ с применением котельных на угле, ЦТ с использованием ТЭС. Комплексная диаграмма позволяет оценить совокупность рассматриваемых параметров. Вид сравнительной диаграммы эффективности вариантов теплоснабжения квартирных домохозяйств представлен на рис. 2. Для визуализации принято, что энергетически обеспечены все рассматриваемые варианты, показатель равен единице.

Наибольший вред окружающей среде наносит вариант с централизованным отоплением с использованием котельных на угольном топливе. У этого варианта системы теплоснабжения показатель экологии равен единице. Остальные варианты представлены в сравнении с угольными котельными.

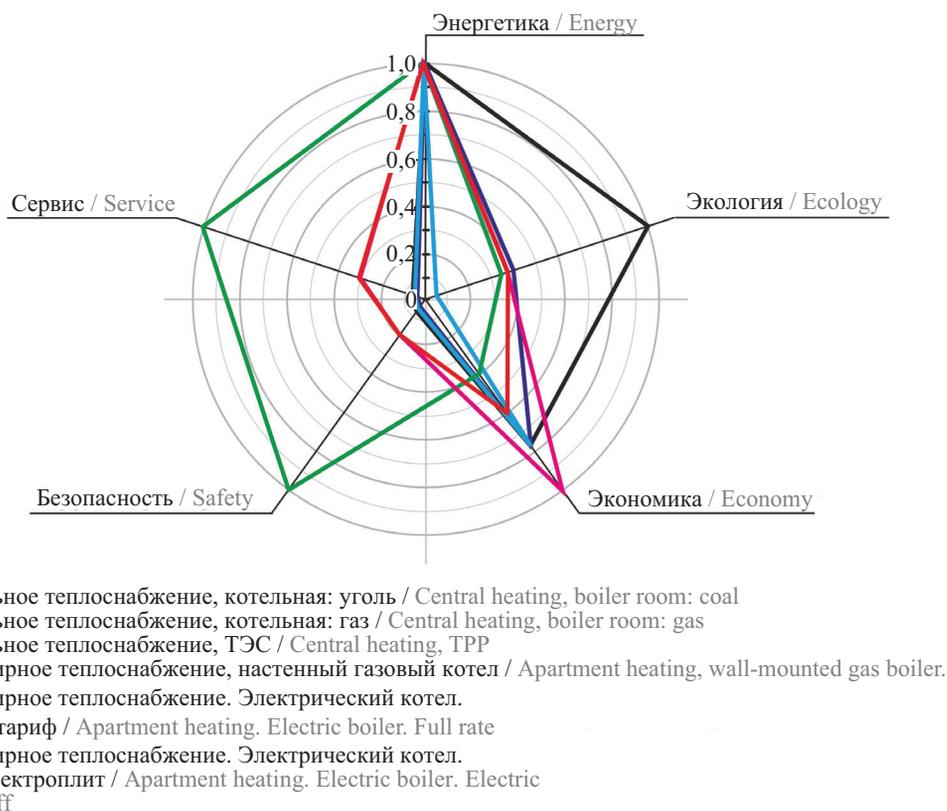


Рис. 2. Сводная диаграмма эффективности вариантов теплоснабжения квартирных домохозяйств
 Fig. 2. Summary diagram of the efficiency of heat supply options for apartment households

Вариант ЦТ с использованием ТЭС по экологии отопления условно принят равным нулю, поскольку рассматривается только эмиссионный след CO₂ генерации тепловой энергии. Тепловое воздействие на атмосферу и эмиссия CO₂ при изготовлении и обслуживании тепловых сетей не рассматривается в данной статье. С экономической точки зрения вариант ПТ с электродкотлами со стандартным тарифом оплаты электроэнергии принят за единицу. Наименьшая безопасность квартирного домохозяйства с точки зрения жизни людей и разрушения квартир у ПТ с газовыми котлами. Однако необходимо отметить, что подавляющее количество рисков газового оборудования в квартире связано не с котлами, а с кухонными газовыми плитами и проточны-

ми газовыми водонагревателями. Затраты на сервис обслуживания ЦТ, связанные с аварийным состоянием старых систем теплоснабжения и котельных, средний возраст которых составляет 35 лет [35–40], не относятся к затратам конечного пользователя.

Схемные решения автономного электрического поквартирного теплоснабжения

Предлагаются системные решения двух типов:

- автономное индивидуальное электрическое водяное поквартирное теплоснабжение с тепловым электрическим генератором для каждого потребителя;
- автономное коллективное электрическое теплоснабжение с тепловым электрическим генератором на несколько квартир с установкой тепловых счетчиков для каждой квартиры.

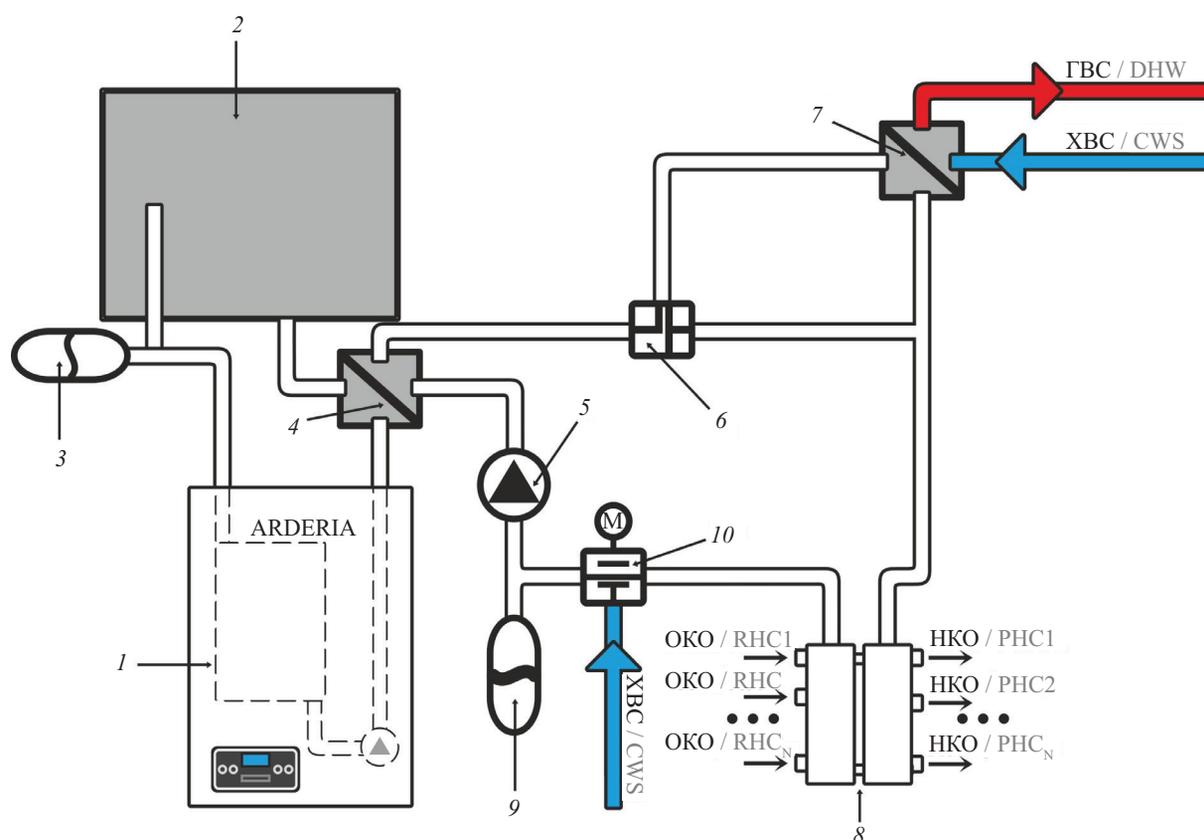


Рис. 3. Гидравлическая схема индивидуального теплового узла квартиры: 1 — электрический котел с встроенным циркуляционным насосом контура генерации тепловой энергии, 9 кВт/ч для 1–2-комнатных квартир, 12 кВт/ч для 3–4-комнатных квартир; 2 — тепловой аккумулятор объемом 150 л для 1–2-комнатных квартир, 200 л для 3–4-комнатных квартир; 3 — расширительный бак контура генерации тепловой энергии; 4 — пластинчатый теплообменник контура генерации тепловой энергии; 5 — циркуляционный насос контура теплоснабжения; 6 — трехходовой кран переключения отопления-ГВС; 7 — пластинчатый теплообменник контура ГВС; 8 — коллекторы напорного отопительного контура (НКО) и обратного отопительного контура (ОКО); 9 — расширительный бак контура теплоснабжения; 10 — узел автоматической подпитки контура теплоснабжения

Fig. 3. Hydraulic scheme of an individual heating unit of the apartment: 1 — electric boiler with built-in circulation pump of the heat generation circuit, 9 kW/h for 1–2-room apartments, 12 kW/h for 3–4-room apartments; 2 — heat accumulator volume 150 l for 1–2-room apartments, 200 l for 3–4-room apartments; 3 — expansion tank of the heat energy generation circuit; 4 — plate heat exchanger of the heat energy generation circuit; 5 — circulation pump of the heat supply circuit; 6 — three-way valve for switching heating-DHW; 7 — plate heat exchanger of the DHW circuit; 8 — collectors of the pressurized heating circuit (PHC) and return heating circuit (RHC); 9 — expansion tank of the heating circuit; 10 — automatic replenishment unit of the heat supply circuit

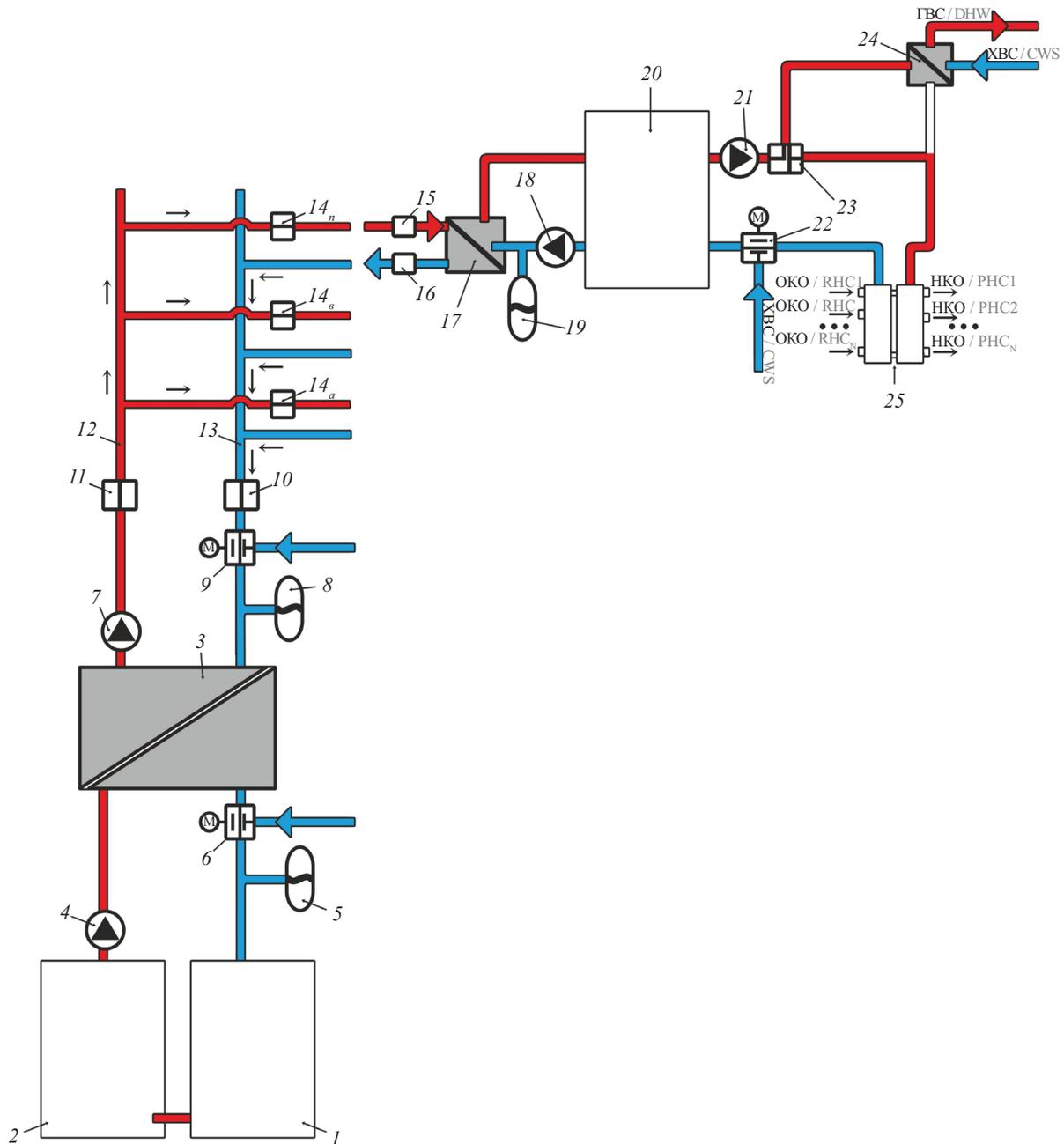
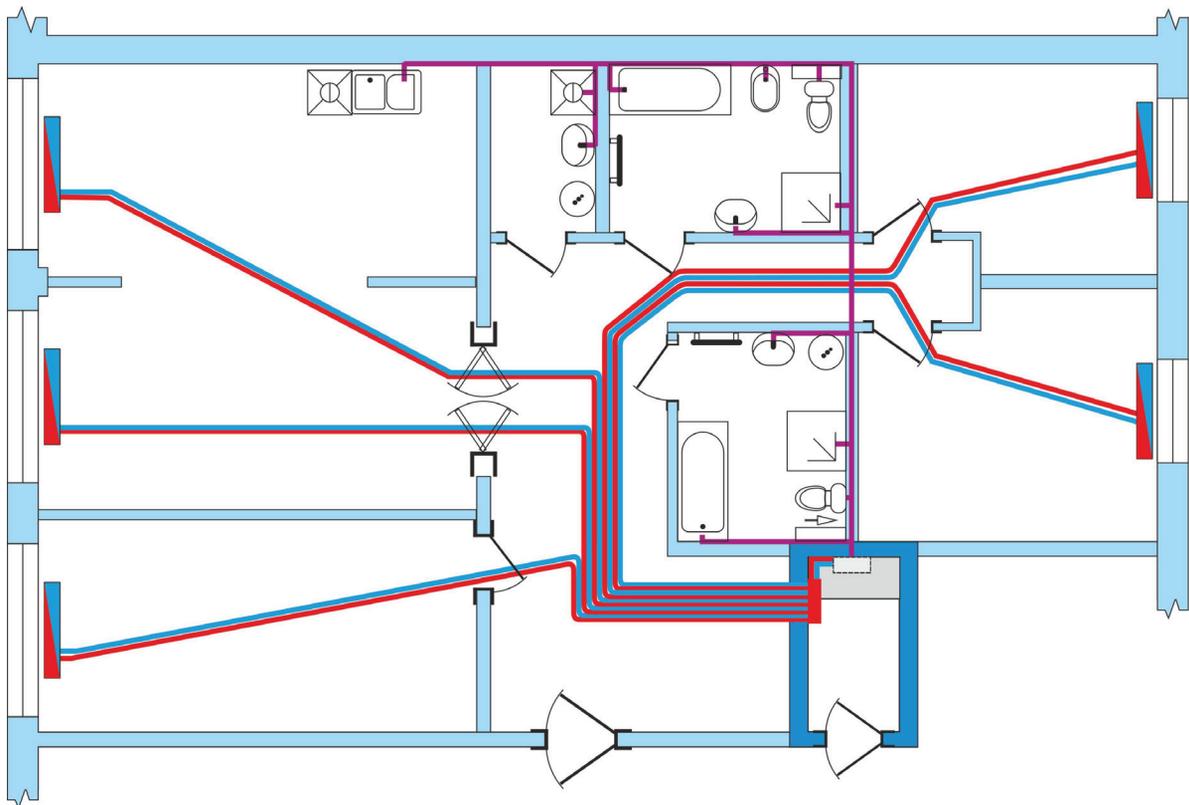


Рис. 4. Гидравлическая схема контура генерации тепла и индивидуального теплового узла для каждой квартиры: 1 — электрический котел контура генерации тепловой энергии, 100 кВт/ч на каждые 20 квартир многоквартирных домохозяйств; 2 — тепловой аккумулятор 1000 л на каждые 20 квартир; 3 — пластинчатый теплообменник контура генерации тепловой энергии; 4 — циркуляционный насос контура генерации; 5 — расширительный бак контура генерации; 6 — узел подпитки контура генерации; 7 — циркуляционный насос контура подачи тепловой энергии; 8 — расширительный бак контура подачи тепловой энергии; 9 — узел подпитки контура подачи тепловой энергии; 10, 11 — узлы контроля тепловой энергии; 12 — стояк подачи контура тепловой энергии; 13 — стояк обратной магистрали контура тепловой энергии; 14а–14n — клапан блокировки подачи тепловой энергии потребителю; 15, 16 — узлы контроля тепловой энергии конечного потребителя; 17 — пластинчатый теплообменник потребления тепловой энергии квартирным домохозяйством; 18 — циркуляционный насос первого контура индивидуального потребления; 19 — расширительный бак контура индивидуального потребления; 20 — тепловой аккумулятор квартирного домохозяйства 150–200 л; 21 — циркуляционный насос второго контура индивидуального потребления; 22 — подпитка контура индивидуального потребления; 23 — трехходовой кран распределения теплоснабжения отопление-ГВС; 24 — пластинчатый теплообменник ГВС; 25 — коллекторы напорный и обратный отопительных приборов

Fig. 4. Hydraulic diagram of the heat generation circuit and individual heating unit for each apartment: 1 — electric boiler of the heat generation circuit 100 kWh for every 20 apartments in multi-apartment households; 2 — heat accumulator 1000 l for every 20 apartments; 3 — plate heat exchanger of the heat energy generation circuit; 4 — circulation pump of the generation circuit; 5 — expansion tank of the generation circuit; 6 — generation circuit recharge unit; 7 — circulation pump of the heat supply circuit; 8 — expansion tank of the heat energy supply circuit; 9 — recharge unit of the heat energy supply circuit; 10, 11 — heat energy control units; 12 — riser for supplying the heat energy circuit; 13 — riser of the return line of the heat energy circuit; 14a–14n — the valve blocking the supply of heat energy to the consumer; 15, 16 — units for controlling the heat energy of the end consumer; 17 — plate heat exchanger for the consumption of heat energy by an apartment household; 18 — the circulation pump of the primary circuit of individual consumption; 19 — expansion tank of the individual consumption circuit; 20 — heat accumulator of an apartment household 150–200 l; 21 — circulation pump of the second circuit of individual consumption; 22 — replenishment of the individual consumption circuit; 23 — three-way valve for the distribution of heat supply heating-DHW; 24 — DHW plate heat exchanger; 25 — pressure and return collectors of heating devices



-  Помещение индивидуального теплового узла с отдельным доступом с лестничной клетки
Room for an individual heating unit with separate access from the staircase
-  Трубопровод отопления напорный / Pressure heating pipeline
-  Трубопровод отопления обратный / Return heating pipeline
-  Трубопровод горячего водоснабжения / Hot water pipeline

Рис. 5. Планировочное решение квартир с помещением индивидуального теплового узла с отдельным доступом с лестничной клетки

Fig. 5. Planning solution for apartments with an individual heating unit with separate access from the staircase

В обоих вариантах для подготовки горячей воды используются системы накопительного типа. Это обусловлено тем, что подготовка проточной горячей воды требует больших энергетических затрат, превышающих выделенный лимит 15 кВт электрической мощности на одно домохозяйство. Решение вопроса подготовки горячей воды для квартирного домохозяйства выполнено с использованием теплового аккумулятора объемом 150 л для 1–2-комнатных квартир и 200 л для 3–4-комнатных квартир. Рекомендуется применять именно тепловые аккумуляторы, а не бойлеры косвенного нагрева. В тепловых аккумуляторах съем тепловой энергии происходит через пластинчатые теплообменники. Нагрев горячей воды осуществляется в процессе протекания холодной воды системы холодного водоснабжения, подаваемой через пластинчатый теплообменник под давлением с одной стороны и циркуляцией нагретой воды контура теплового аккумулятора с другой стороны. Разделение контуров циркуляции через пластинчатые теплообменники решает несколько вопросов. Подготовка горячей воды происходит с использованием методов гигиенического

проектирования, исключающего возможность возникновения легионеллы и других бактерий [41].

Контуры циркуляции теплового аккумулятора и электрического генератора тепловой энергии отделены от контура потребления тепловой энергии, что позволяет контролировать качество теплоносителя и не допускать его загрязнения и образования накипи. Разделение контуров циркуляции пластинчатыми теплообменниками с установкой промежуточных фильтров снижает риски выхода из строя оборудования систем теплоснабжения. Гидравлическая схема индивидуальной автономной электрической водяной системы теплоснабжения показана на рис. 3.

В многоквартирном доме может применяться автономное коллективное электрическое теплоснабжения с тепловым электрическим генератором на несколько квартир с установкой тепловых счетчиков для каждой квартиры. Гидравлическая схема контура генерации тепла и индивидуального теплового узла для каждой квартиры представлена на рис. 4.

Как и в описанном выше варианте, разделение всех контуров циркуляции проведено с помощью

пластинчатых теплообменников. Архитектурное планировочное решение квартиры с автономным электрическим теплоснабжением выполнено с выделением индивидуального теплового узла в отдельное помещение с выходом на лестничную клетку многоквартирного дома. Это решение показано на рис. 5. Наличие данного помещения позволит производить сервисные и ремонтные работы системы теплоснабжения и других инженерных коммуникаций в любое время.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Возможность использования электрических тепловых генераторов в системах теплоснабжения городских домохозяйств или индивидуальных домов аналогичной площади с точки зрения сравнения с системами с теплогенераторами на углеводородном топливе обосновано следующими основаниями.

Требование положительного баланса выделенной электрической мощности 15 кВт/ч и суммарной мощности потребления энергии квартирного домохозяйства при электрическом теплоснабжении выполняется даже при четырехкомнатном домохозяйстве. Вопрос пикового кратковременного превышения выделенной мощности и срабатывания устройств автоматического отключения электрического питания домохозяйства решается установкой приоритетного распределения выделенной мощности.

В случае перехода на электрическую генерацию тепловой мощности при поквартирном теплоснабжении многоэтажных домов углеродоемкость производства тепловой энергии в целом по стране снижается. При замене котельных центрального отопления многоэтажных домов, работающих

на угле, на электрическую тепловую генерацию углеродоемкость эмиссии CO₂ снижается до двух-трех раз.

Соотношение затрат на оплату услуг по теплоснабжению в пользу существующего централизованного теплоснабжения в 1,32 раза (на 32 % дешевле). Наиболее экономичным является вариант поквартирного теплоснабжения с использованием индивидуальных настенных газовых котлов. При распространении тарифов на электрическое теплоснабжение по тарифу для домов с электроплитами или по тарифам сельской местности указанные значения затрат на электрическое теплоснабжение снижаются и становятся дешевле стоимости централизованного теплоснабжения, но выше поквартирного теплоснабжения настенными газовыми котлами. Средние значения энергетических тарифов по стране сильно отличаются между собой, и для актуального сравнения вариантов теплоснабжения необходим анализ каждого региона отдельно.

При электрическом поквартирном теплоснабжении исключены случаи отравления газом и взрывы зданий. Исключаются затраты на эксплуатацию тепловых и газовых коммунальных сетей.

Архитектурно-планировочное решение квартиры с автономным электрическим теплоснабжением выполнено с выделением индивидуального теплового узла в отдельное помещение с выходом на лестничную клетку многоквартирного дома. Наличие данного помещения позволит производить сервисные и ремонтные работы системы теплоснабжения и других инженерных коммуникаций без привлечения жителей домохозяйства в любое время суток.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Шарипов А.Я. Децентрализованное теплоснабжение. Приоритетные направления развития. Проблемы внедрения // CADmaster. 2020. № 2 (93). URL: https://www.cadmater.ru/magazin/articles/cm_93_19.html
2. Башкатова А. Средний размер квартир за десятилетие уменьшился на 20 % // Независимая. 2021. URL: https://www.ng.ru/economics/2021-09-15/1_8252_apartments.html
3. Миронова А.А., Прокофьева Л.М. Семья и домохозяйство в России: демографический аспект // Демографическое обозрение. 2018. № 2. DOI: 10.17323/demreview.v5i2.7936
4. Пьянкова А.И., Щербакова Е.М., Васин С.А. Микропереписи населения России: прошлое, настоящее и будущее // Демографическое обозрение. 2018. № 2. DOI: 10.17323/demreview.v5i2.7935
5. Доброхлеб В.Г., Гузанова А.К. Городское население и семья в современной России // Народонаселение. 2016. № 2 (72). С. 75–84. EDN WCFQBN.
6. Торопов А.Л. Использование электрических котлов с иерархическим управлением нагрузкой для поквартирного теплоснабжения // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. № 11. С. 1488–1498. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.11.1488-1498. EDN AHDIYIY.
7. Toropov A.L. The system of priority distribution of the allocated limited electrical capacity of the household // E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 389. P. 01058. DOI: 10.1051/e3sconf/202338901058
8. Стертюков К.Г., Стародубцева О.А. Проблемы внедрения новых технологий и технических средств с целью увеличения КПД в энергетической отрасли // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2018. № 25. С. 58–73. EDN UOAKVZ.
9. Casasso A., Capodaglio P., Simonetto F., Sethi R. Environmental and Economic Benefits from

the Phase-out of Residential Oil Heating: A Study from the Aosta Valley Region (Italy) // Sustainability. 2019. Vol. 11. Issue 13. P. 3633. DOI: 10.3390/su11133633

10. Ravina M., Gamberini C., Casasso A., Panepinto D. Environmental and health impacts of domestic hot water (dhw) boilers in urban areas: A case study from Turin, NW Italy // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020. Vol. 17. Issue 2. P. 595. DOI: 10.3390/ijerph17020595

11. Гимади В., Амирагян А., Поминова И. и др. Углеродоемкость электроэнергии в мире и России // Энергетический бюллетень. 2019. № 72. URL: <https://ac.gov.ru/files/publication/a/22245.pdf>

12. Григорьев Л., Павлюшина В., Музыченко Е. и др. Экология и экономика: тенденция к декарбонизации // Бюллетень о текущих тенденциях российской экономики. 2020. № 66. URL: https://ac.gov.ru/uploads/2-Publications/BRE/_октябрь_web.pdf

13. Романова Т.Н. Обеспечение безопасности при эксплуатации бытового газового оборудования // Строительство и техногенная безопасность. 2018. № 13 (65). С. 113–120. EDN ZISCLR.

14. Шацкая К.В. Аварийность бытового газа. Причины возникновения аварий, правила безопасности использования газа в быту // European research. 2015. № 3 (4).

15. Зуев А.Н., Тарасенко В.И. Состояние и проблемы эксплуатации бытовой газовой аппаратуры — газовых плит // Вестник МГСУ. 2011. № 7. С. 507–514. EDN OWFENV.

16. Стариков А.Н., Химанина О.А., Марков М.А., Позднякова Е.В. Обеспечение безопасности эксплуатации газового оборудования // Проблемы науки. 2016. № 2 (3).

17. Яшин Д.Г., Псарев С.А. Анализ аварий на газотранспортной системе России // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2018. № 9.

18. Терёшкин А.А. Анализ аварийности на сетях газораспределения // Вестник магистратуры. 2021. № 5–6 (116). С. 63–65. EDN JURZHC.

19. Данилова А.С. Анализ аварийности сетей тепло- и газоснабжения // Вестник магистратуры. 2021. № 1–5 (112). С. 27–31. EDN QQGWF.

20. Соколов Ю.И. Системный кризис жилищно-коммунального хозяйства России // Проблемы анализа риска. 2020. Т. 17. № 5. С. 10–25. DOI: 10.32686/1812-5220-2020-17-5-10-25

21. Пилипенко Н.В. Тепловые потери и энергетическая эффективность зданий и сооружений : учебное пособие. СПб. : Университет ИТМО, 2016. 54 с.

22. Жигулина И.С., Алифанова А.И. Особенности применения электрического отопления // Современные наукоемкие технологии. 2013. № 8–1. С. 41–42. EDN QYYPOV.

23. Аллох М.Ю., Маликов С.А. Сравнение эффективности теплового насоса и электрического

котла для теплоснабжения коттеджа // X Междунар. студ. науч. конф. : студ. науч. форум. 2018. URL: <https://scienceforum.ru/2018/article/2018007141>

24. Табунициков Ю.А. Конденсационные котлы в автономном теплоснабжении // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2016. № 4. С. 26–31. EDN WANDZV.

25. Хаванов П.А., Чуленев А.С. Климатические параметры и эффективность конденсационных котлов // АВОК. 2016. № 3. С. 56–63. EDN VRANFD.

26. Наумов Н.Р., Марьяндышев П.А., Попов А.Н., Любовь В.К. Исследование работы газовых котлов малой мощности // Вестник Череповецкого государственного университета. 2017. № 4 (79). С. 27–33. DOI: 10.23859/1994-0637-2017-4-79-4 EDN ZCDJEB.

27. Bonaros V., Gelegenis J., Harris D., Giannakidis G., Zeryas K. Analysis of the energy and cost savings caused by using condensing boilers for heating dwellings in Greece // 5th International Conference on Applied Energy ICAE2013. Pretoria, South Africa, 2013. DOI: 10.13140/RG.2.1.2731.4406

28. Хаванов П.А., Чулнёв А.С. Источники теплоты автономных систем теплоснабжения : монография. М. : Издательство МИСИ – МГСУ, 2022. 262 с.

29. Хаванов П.А., Чулнёв А.С. Оценка мощности и экологические аспекты теплогенерирующих установок : учебно-методическое пособие. М. : Московский государственный строительный университет, Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ, 2017. 82 с.

30. Торпов А.Л. Гидравлическая и тепловая устойчивость работы автономных систем поквартирного теплоснабжения // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. № 7. С. 944–953. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.7.944-953 EDN QWQWXX.

31. Vignali G. Environmental assessment of domestic boilers: A comparison of condensing and traditional technology using life cycle assessment methodology // Journal of Cleaner Production. 2017. Vol. 142. Pp. 2493–2508. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.11.025

32. Ma D., Zou G., Guo J., Li J., Kan Z., Wang C. Research on evaluation method of coal-to-electricity project considering load access mode // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 558. Issue 5. P. 052012. DOI: 10.1088/1755-1315/558/5/052012

33. Xie F., Sun Z., Zhou X., Fu C., Yang J. Economic analysis of electric heating based on critical electricity price // AIP Conference Proceedings. 2018. DOI: 10.1063/1.5041186

34. Nielsen M.G., Morales J.M., Zugno M., Pedersen T.E., Madsen H. Economic valuation of heat pumps and electric boilers in the Danish energy system // Applied Energy. 2016. Vol. 167. Pp 189–200. DOI: 10.1016/j.apenergy.2015.08.115

35. Терентьева А.С. Анализ основных проблем централизованного теплоснабжения в России на современном этапе // Науч. тр.: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. 2020. № 18. С. 253–273. DOI: 10.47711/2076-318-2020-253-273. EDN THHLDV.

36. Стенников В.А., Пеньковский А.В. Проблемы российского теплоснабжения и пути их решения // Всероссийский экономический журнал ЭКО. 2019. № 9. С. 48–69. DOI: 10.30680/EC00131-7652-2019-9-48-69

37. Щапова Я.А. Состояние и перспективы развития теплоэнергетики в России // Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе : мат. Нац. с междунар. участием науч.-практ. конф. студентов, аспирантов, ученых и специалистов, посвящ. 20-летию создания кафедры электроэнергетики. 2020. С. 50–51. EDN UJMCST.

38. Цуверкалова О.Ф. Анализ современного состояния и тенденций развития отрасли теплоснабже-

ния в РФ // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2020. № 11–3. С. 554–559. DOI: 10.17513/vaael.1462 EDN VFEUFY.

39. Гайворонская М.С. Оценка потребности в газификации домохозяйств России и возможности для ее ускорения // Науч. тр.: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. 2020. № 18. С. 274–295. DOI: 10.47711/2076-318-2020-274-295 EDN MORHDW.

40. Долматов И.А., Панова М.А., Кечин С.А. Подходы к определению уровня газификации регионов // Газовая промышленность. 2019. № 4 (783). С. 88–93. EDN ZCQQPJ.

41. Торопов А.Л. О проблемах возникновения легионеллы и других бактерий в индивидуальных и децентрализованных системах отопления и горячего водоснабжения комбинированных гелиосистем // Современные наукоемкие технологии. 2019. № 3–2. С. 256–260.

Поступила в редакцию 27 апреля 2023 г.

Принята в доработанном виде 2 мая 2023 г.

Одобрена для публикации 20 июня 2023 г.

ОБ АВТОРЕ: Алексей Леонидович Торопов — кандидат технических наук, генеральный директор — главный конструктор; Инженерный центр «Апрель» (ИЦ «Апрель»); 105122, г. Москва, Щелковское шоссе, д. 13; РИНЦ ID: 1030472, ORCID: 0000-0002-7457-6948; Toropov@aprilgroup.ru.

REFERENCES

1. Sharipov A.Ya. Decentralized heat supply. Priority directions of development. Implementation problems. *CADmaster*. 2020; 2(93). URL: https://www.cadmaster.ru/magazin/articles/cm_93_19.html (rus.).

2. Bashkatova A. The average apartment size has decreased by 20% in a decade. *Independent*. 2021. URL: https://www.ng.ru/economics/2021-09-15/1_8252_apartments.html (rus.).

3. Mironova A.A., Prokof'eva L.M. Family and household in Russia: the demographic aspect. *Demographic Review*. 2018; 2. DOI: 10.17323/demreview.v5i2.7936 (rus.).

4. P'yankova A.I., Shcherbakova E.M., Vasin S.A. Micro-censuses of the population of Russia: past, present and future. *Demographic Review*. 2018; 2. DOI: 10.17323/demreview.v5i2.7935 (rus.).

5. Dobrokhleb V.G., Guzanova A.K. Urban population and family in modern Russia. *Population*. 2016; 2(72):75-84. EDN WCFQBN. (rus.).

6. Toropov A.L. Using electric boilers with hierarchical load control systems to supply heat to apartments. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2022; 17(11):1488-1498. DOI:

10.22227/1997-0935.2022.11.1488-1498 EDN AHDYIY. (rus.).

7. Toropov A.L. The system of priority distribution of the allocated limited electrical capacity of the household. *E3S Web of Conferences*. 2023; 389:01058. DOI: 10.1051/e3sconf/202338901058

8. Stertyukov K.G., Starodubtseva O.A. Problems of introduction of new technologies and technical tools to increase efficiency in the energy sector. *PNRPU Bulletin. Electrotechnics, Informational Technologies, Control Systems*. 2018; 25:58-73. EDN UOAKVZ. (rus.).

9. Casasso A., Capodaglio P., Simonetto F., Sethi R. Environmental and economic benefits from the phase-out of residential oil heating: A study from the Aosta Valley Region (Italy). *Sustainability*. 2019; 11(13):3633. DOI: 10.3390/su11133633

10. Ravina M., Gamberini C., Casasso A., Panepinto D. Environmental and health impacts of Domestic Hot Water (DHW) boilers in urban areas: A case study from Turin, NW Italy. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020; 17(2):595. DOI: 10.3390/ijerph17020595

11. Gimadi V., Amiraghyan A., Pominova I. et al. Carbon intensity of electricity in the world and Russia.

Energy Bulletin. 2019; 72. URL: <https://ac.gov.ru/files/publication/a/22245.pdf> (rus.).

12. Grigoriev L., Pavlyushina V., Muzychenko E. et al. Ecology and economics: Tendency towards decarbonization. *Bulletin on Current Trends in the Russian Economy*. 2020; 66. URL: https://ac.gov.ru/uploads/2-Publications/BRE/_октябрь_web.pdf (rus.).

13. Romanova T.N. Security at operation of household gas equipment. *Construction and Industrial Safety*. 2018; 13(65):113-120. EDN ZISCLR. (rus.).

14. Shatskaya K.V. Accident rate of domestic gas. Causes of accidents, safety rules for the use of gas in everyday life. *European Research*. 2015; 3(4). (rus.).

15. Zuev A., Tarasenko V. The condition and problems of gas-stove operation of the domestic gas-fitting. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2011; 7:507-514. EDN OWFENV. (rus.).

16. Starikov A.N., Khimanina O.A., Markov M.A., Pozdnyakova E.V. Ensuring the safety of gas equipment operation. *Problems of Science*. 2016; 2(3). (rus.).

17. Yashin D.G., Psarev S.A. Analysis of accidents in the gas transmission system of Russia. *Fire Safety: Problems and Prospects*. 2018; 9. (rus.).

18. Tereshkin A.A. Analysis of accidents on gas distribution networks. *Bulletin of the Magistracy*. 2021; 5-6(116):63-65. EDN JURZHC. (rus.).

19. Danilova A.S. Analysis of the accident rate of heat and gas supply networks. *Bulletin of the Magistracy*. 2021; 1-5(112):27-31. EDN QQGWFA. (rus.).

20. Sokolov Yu.I. Systemic crisis of housing and communal services in Russia. *Issues of Risk Analysis*. 2020; 17(5):10-25. DOI: 10.32686/1812-5220-2020-17-5-10-25 (rus.).

21. Pilipenko N.V. *Heat losses and energy efficiency of buildings and structures : tutorial*. St. Petersburg, ITMO University, 2016; 54. (rus.).

22. Zhigulina I.S., Alifanova A.I. Features of the use of electric heating. *Modern science-intensive technologies*. 2013; 8-1:41-42. EDN QYYPOV. (rus.).

23. Alloh M.Yu., Malikov S.A. Comparison of the efficiency of a heat pump and an electric boiler for heating a cottage. *X International Student Scientific Conference: student scientific forum*. 2018. URL: <https://scienceforum.ru/2018/article/2018007141> (rus.).

24. Tabunshchikov Yu.A. Tabunshchikov Yu.A. Condensing boilers in autonomous heat supply. *ABOK: Heating, Ventilation, Air-Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics*. 2016; 4:26-31. EDN WANDZV. (rus.).

25. Khavanov P.A., Chulenev A.S. Climatic parameters and efficiency of condensing boilers. *ABOK: Heating, Ventilation, Air-Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics*. 2016; 3:56-63. EDN VRANFD. (rus.).

26. Naumov N.R., Maryandyshev P.A., Popov A.N., Lyubov V.K. Study on gas boilers of low ca-

pacities. *Cherepovets State University Bulletin*. 2017; 4(79):27-33. DOI: 10.23859/1994-0637-2017-4-79-4 EDN ZCDJEB. (rus.).

27. Bonaros V., Gelegenis J., Harris D., Giannakidis G., Zeryas K. Analysis of the energy and cost savings caused by using condensing boilers for heating dwellings in Greece. *5th International Conference on Applied Energy ICAE2013*. Pretoria, South Africa, 2013. DOI: 10.13140/RG.2.1.2731.4406

28. Khavanov P.A., Chulnev A.S. *Heat sources of autonomous heat supply systems : monograph*. Moscow, Publishing house MISI – MGSU, 2022; 262. (rus.).

29. Khavanov P.A., Chulnev A.S. *Power assessment and environmental aspects of heat generating installations: teaching aid*. Moscow, Moscow State University of Civil Engineering, IP Air Media, EBS DIA, 2017; 82. (rus.).

30. Torpov A.L. Hydraulic and thermal stability of independent systems of apartment heating. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2022; 17(7):944-953. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.7.944-953 EDN QWQWXX. (rus.).

31. Vignali G. Environmental assessment of domestic boilers: A comparison of condensing and traditional technology using life cycle assessment methodology. *Journal of Cleaner Production*. 2017; 142:2493-2508. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.11.025

32. Ma D., Zou G., Guo J., Li J., Kan Z., Wang C. Research on evaluation method of coal-to-electricity project considering load access mode. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020; 558(5):052012. DOI: 10.1088/1755-1315/558/5/052012

33. Xie F., Sun Z., Zhou X., Fu C., Yang J. Economic analysis of electric heating based on critical electricity price. *AIP Conference Proceedings*. 2018. DOI: 10.1063/1.5041186

34. Nielsen M.G., Morales J.M., Zugno M., Pedersen T.E., Madsen H. Economic valuation of heat pumps and electric boilers in the Danish energy system. *Applied Energy*. 2016; 167:189-200. DOI: 10.1016/j.apenergy.2015.08.115

35. Terentyeva A.S. Analysis of the main district heating issues in Russia at the present stage. *Scientific Works: Institute of Economic Forecasting of the Russian Academy of Sciences*. 2020; 18:253-273. DOI: 10.47711/2076-318-2020-253-273 EDN THHLDV. (rus.).

36. Stennikov V.A., Penkovskii A.V. Problems of the Russian Heat Supply and Ways of Solving them. *ECO*. 2019; 9:48-69. DOI: 10.30680/EC00131-7652-2019-9-48-69 (rus.).

37. Shchapova Ya.A. State and prospects for the development of thermal power engineering in Russia. *Energy saving and innovative technologies in the fuel and energy complex : materials of the National with international participation scientific and practical conference of students, graduate students, scientists and specialists dedicated to the 20th anniversary of the cre-*

ation of the Department of Electric Power Engineering. 2020; 50-51. EDN UJMCCT. (rus.).

38. Tsuverkalova O.F. Analysis of the current state and trends of development of the heat supply industry in the Russian Federation. *Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law*. 2020; 11-3:554-559. DOI: 10.17513/vaael.1462. EDN VFEUFY. (rus.).

39. Gayvoronskaya M.S. Assessment of the need of households for gasification in Russia and the possibilities for its acceleration. *Scientific Works: Institute of Economic Forecasting of the Russian Academy of Sci-*

ences. 2020; 18:274-295. DOI: 10.47711/2076-318-2020-274-295 EDN MORHDW. (rus.).

40. Dolmatov I.A., Panova M.A., Kechin S.A. Approaches to the determination of the gasification level of regions. *GAS Industry*. 2019; 4(783):88-93. EDN ZCQQPJ. (rus.).

41. Toropov A.L. On the problems of the occurrence of legionella and other bacteria in individual and decentralized heating systems and hot water supply of combined solar systems. *Modern science-intensive technologies*. 2019; 3-2:256-260. (rus.).

Received April 27, 2023.

Adopted in revised form on May 2, 2023.

Approved for publication on June 20, 2023.

BIOTNOTES: **Alexey L. Toropov** — Candidate of Technical Sciences, General Director — Chief Designer; **Engineering Center “April”**; 13 Schelkovskoe shosse, Moscow, 105122, Russian Federation; ID RSCI: 1030472, ORCID: 0000-0002-7457-6948; Toropov@aprilgroup.ru.