



ISSN 1993-3495 online

СОВРЕМЕННОЕ ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО
MODERN INDUSTRIAL AND CIVIL CONSTRUCTION

2024, ТОМ 20, НОМЕР 2, 83–92

EDN: YVRDBL

УДК 697.34

ПРОБЛЕМЫ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

А. С. Ларионова ^{a, 1}, А. Р. Сибгатов ^{a, b, 2}, К. Р. Алмакаев ^{a, 3}, Г. М. Ахмерова ^{a, 4}

^a ФГБОУВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет»,

Российская Федерация, Республика Татарстан,

420043, г. о. Казанский, г. Казань, ул. Зеленая, 1.

^b АО «Казэнерго», отдел «Проектное бюро»,

Российская Федерация, 420021, г. Казань, ул. Габдуллы Тукая, 162.

E-mail: ¹anna.larionova04@mail.ru, ²sibgatovair@gmail.com, ³almakaevka@gmail.com,

⁴akhmerovaag@mail.ru

Получена 08 мая 2024; принята 24 мая 2024.

Аннотация. В статье рассматриваются четыре группы проблем систем централизованного теплоснабжения (экономические, социальные, энергетические, экологические), современное состояние и тенденции развития. Развитие сектора необходимо для решения экономических вопросов и социальной стабильности общества, но невозможно без внедрения новых технологий. Требуется повысить эффективность процессов производства, передачи и потребления тепла, устранять высокий износ оборудования и теплопотерь, развивать технологии, включая использование альтернативных источников энергии. Анализ мирового опыта показал, что развитие систем теплоснабжения на современном этапе подразумевает применение возобновляемых источников энергии, цифровых технологий на протяжении жизненного цикла объекта теплоснабжения, повышение энергоэффективности зданий, модернизацию тепловых пунктов и котельных, повышение уровня автоматизации, использование пластинчатых теплообменников и труб из полимерных материалов. В перспективе энергетические системы должны стать интегрированными, экологически чистыми, интеллектуальными, адаптированными к географическим особенностям, природным ресурсам, климату и экономике.

Ключевые слова: централизованное теплоснабжение, трубопроводы тепловых сетей.

PROBLEMS OF DISTRICT HEATING SYSTEMS AT THE PRESENT STAGE

Anna Larionova ^{a, 1}, Airat Sibgatov ^{a, b, 2}, Karim Almakaev ^{a, 3}, Guzel Akhmerova ^{a, 4}

^a FSBEI HE «Kazan State University of Architecture and Engineering»,

Russian Federation, 420043, Kazan, Zelenaya st., 1.

^b JSC «Kazenergo», department «Design Bureau»,

Russian Federation, 420021, Kazan, Gabdully Tukaya st., 162.

E-mail: ¹anna.larionova04@mail.ru, ²sibgatovair@gmail.com, ³almakaevka@gmail.com,

⁴akhmerovaag@mail.ru

Received 08 May 2024; accepted 24 May 2024.

Abstract. The article examines four groups of problems of district heating systems (economic, social, energy, environmental), the current state and development trends. The development of the sector is necessary to solve economic issues and social stability of society, but it is impossible without the introduction of new technologies. It is required to increase the efficiency of the processes of production, transmission and consumption of heat, to solve problems with high wear of equipment and heat loss, to develop technologies,



including the use of alternative energy sources. Analysis of world experience has shown that the development of heat supply systems at the present stage implies the use of renewable energy sources, digital technologies throughout the life cycle of a heat supply object, improving the energy efficiency of buildings, modernizing heating points and boiler houses, increasing the level of automation, using plate heat exchangers and pipes made of polymer materials. Energy systems in the future should become integrated, environmentally friendly, intelligent, adapted to geographical features, natural resources, climate and economy.

Keywords: centralized heat supply, heating network pipelines.

Формулировка проблемы

История развития теплофикации в России насчитывает более 100 лет, но начало становления массовой городской теплофикации приходится на 1930-е гг. Расцвет же централизованного теплоснабжения пришелся на 1960-е гг., когда сооружались крупные ТЭЦ мощностью 1 700–2 300 Гкал/ч, обеспечивающие тепловой энергией потребителей в радиусе 10 км и более. В начале 90-х централизованное теплоснабжение в стране осуществлялось более чем от 900 ТЭЦ – Советский Союз обладал одной из мощнейших энергетических систем в мире и порядка 800 городов обеспечивались централизованным теплоснабжением. В Казани к началу 1981 года обеспеченность населения центральным отоплением достигала 92%. В 1990–2010-е гг. теплоэнергетика постепенно теряет все достигнутые за советский период преимущества. В эти годы не было построено ни одной теплоэлектроцентрали и потребители постепенно переходили на снабжение теплотой от мелких менее экономичных котельных [1, 2]. Протяженность тепловых сетей в двухтрубном исчислении составляет около 170 тыс. км, из них доля полностью изношенных труб оценивается примерно в 30% [3]. Тяжелое состояние тепловых сетей приводит к увеличению потерь энергии при транспортировке и отражается на тарифах.

Анализ последних исследований и публикаций

На 2023 г. в мире насчитывается около 80 000 рынков тепловой энергии, из которых 50 000 расположены в Российской Федерации, около 6 000 – в Европейском союзе, остальные 24 000 – в Китае, США, Украине, Беларуси, Казахстане и др. [4]. Правительства Грузии, Армении, Румынии отказались от централизованного теплоснабжения по экономическим причинам. Специалисты отмечают высокую рентабельность централизованного теплоснабжения в скандинавских

странах, значительную энергоэффективность датских систем, быстрое развитие теплоснабжения в Китае, серьезные экологические последствия использования децентрализованных систем теплоснабжения и дефицит электрической и тепловой энергии в Монголии [5–7], особенности низкотемпературного централизованного теплоснабжения в Литве и Швеции и, к сожалению, устойчивую убыточность Российского рынка [8–13]. В настоящее время, как видно из ряда публикаций [14–16], фокус проблем в системах централизованного теплоснабжения смещается с производственно-технологических проблем (экология, низкая эффективность, износ, потери) в сторону экономических и социальных проблем.

Цели

Задачей исследования является изучение четырех групп проблем систем централизованного теплоснабжения на современном этапе.

1. Экономические проблемы: недоинвестированность и финансовое неблагополучие отрасли. Централизованное теплоснабжение дорого стоит для потребителей и требует значительных инвестиций в строительство и обслуживание инфраструктуры.
2. Социальные проблемы: централизованное теплоснабжение может вызывать неудобства для потребителей, такие как низкое качество тепла, прерывания в поставке и высокая стоимость. Отсутствие мотивации у потребителей использовать тепло эффективно.
3. Энергетическая эффективность: низкая эффективность производства и передачи тепла – централизованное теплоснабжение может быть неэффективным с точки зрения использования энергии. Необходимо оптимизировать процессы производства, передачи и потребления тепла, устранять высокий износ оборудования и теплопотери, улучшать

технологии, включая использование альтернативных источников энергии.

4. Экологические проблемы: децентрализованное теплоснабжение, особенно при использовании традиционных ископаемых и источников энергии, может приводить к загрязнению окружающей среды и негативному воздействию на климат. Изучение экологических последствий этих систем позволяет разрабатывать более экологически чистые и эффективные способы производства и распределения тепла при централизованном теплоснабжении.

Основной материал

В структуре затрат в теплоэнергетике и централизованном теплоснабжении 66 % составляют материальные затраты, где доминируют затраты на

топливо и энергию, 21 % – оплата труда, амортизация составляет всего 7 %, остальное – прочие затраты (рис. 1). В тепловых сетях России наибольшую долю составляют сети диаметров менее 200 мм (74,4 %), 16,2 % трубопроводов имеют диаметр от 200 до 400 мм, оставшиеся 9,4 % приходится на теплосети диаметром свыше 400 мм (рис. 2). Около 30 % (51,5 тыс. км) трубопроводов теплосетей требуют замены [17], а около 23 % (38,8 тыс. км) всех сетей являются ветхими (сети, имеющие износ по данным технической инвентаризации, свыше 60 %). Ежегодно в среднем обновляется порядка 2 % всех трубопроводов теплосетей. Высокий уровень потерь объясняется избыточной централизацией и обветшанием теплосетей. В таблице 1 приведены данные сравнения уровня потерь тепла в системах теплоснабжения различных стран [14].



Рисунок 1 – Структура затрат в централизованном теплоснабжении.

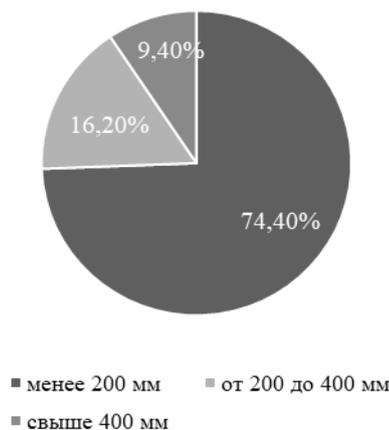


Рисунок 2 – Структура диаметров тепловых сетей в РФ.

Таблица 1. Сравнение уровня потерь тепла в системах теплоснабжения различных стран

№	Страна	Теплопотери, %	№	Страна	Теплопотери, %
1	Австрия	5	12	Литва	10
2	Великобритания	5	13	Норвегия	10
3	Франция	5	14	Россия	10–30; 12,5
4	Эстония	5	15	Чехия	10
5	Китай	5–10	16	Словения	12
6	Германия	8	17	Италия	13
7	Латвия	8	18	Финляндия	13
8	Швейцария	8	19	Нидерланды	14
9	Болгария	9	20	Дания	15
10	Польша	9	21	Монголия	18
11	Сербия	9	22	Узбекистан	35

Средняя цена (тариф) на тепло в России в 2024 г. составила 2429,74 руб./Гкал, что определяет выручку сектора на уровне 2,5 трлн руб. При этом наибольшие тарифы на тепловую энергию 3719,23 руб./Гкал установлены в регионах Дальневосточного, Сибирского и Северо-Западного округов, Камчатском крае. Специалисты-теплоэнергетики [8, 17], отмечают убыточность сферы централизованного теплоснабжения на протяжении последних 30 лет. На рисунке 3 представлен рост тарифов за 11 лет в РФ, г. Казани и средние показатели инфляции, % в 2013–2023 гг. Динамика изменения тарифа на тепловую энергию по городам представлена на рисунке 5. В 2020 г.

убыток в целом по сфере теплоснабжения составил – 180 млрд руб. [17]. На рисунке 4 показаны изменения в процентном соотношении выручки в сфере теплоснабжения в 2016–2020 гг.

Инвестиции в сферу теплоснабжения в 2020 г. составили 165,7 млрд руб., из которых 89,7 млрд руб. пришлось на производство; 72,5 млрд руб. – на передачу и распределение ТЭ. Объем инвестиций в системы ЦТ в 2016–2020 гг. увеличился более чем на 70 %. Основным источником инвестиций в основной капитал в сфере ЦТ являются собственные средства организаций (80 %), 20 % – привлеченные средства (из них 12 % – бюджетные средства, 7 % – заемные средства других

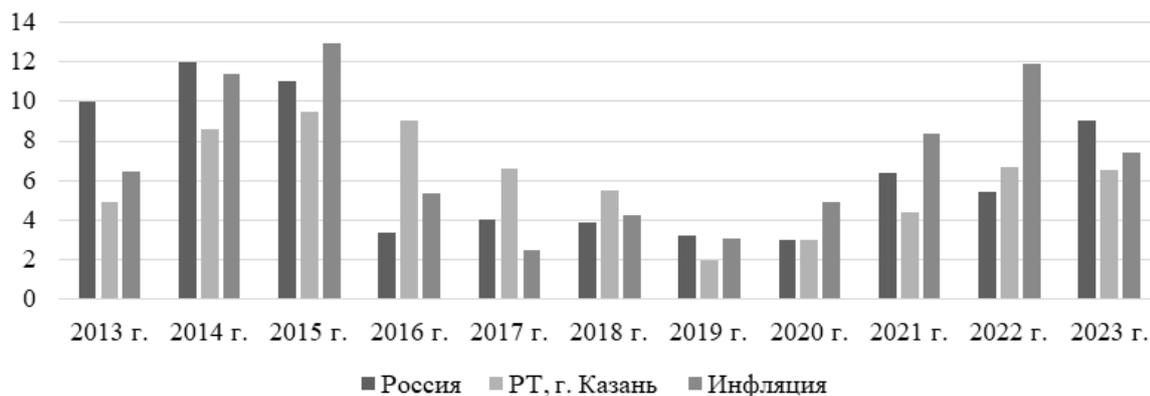


Рисунок 3 – Рост тарифов в РФ, г. Казани и инфляции по 2013–2023 гг., %.

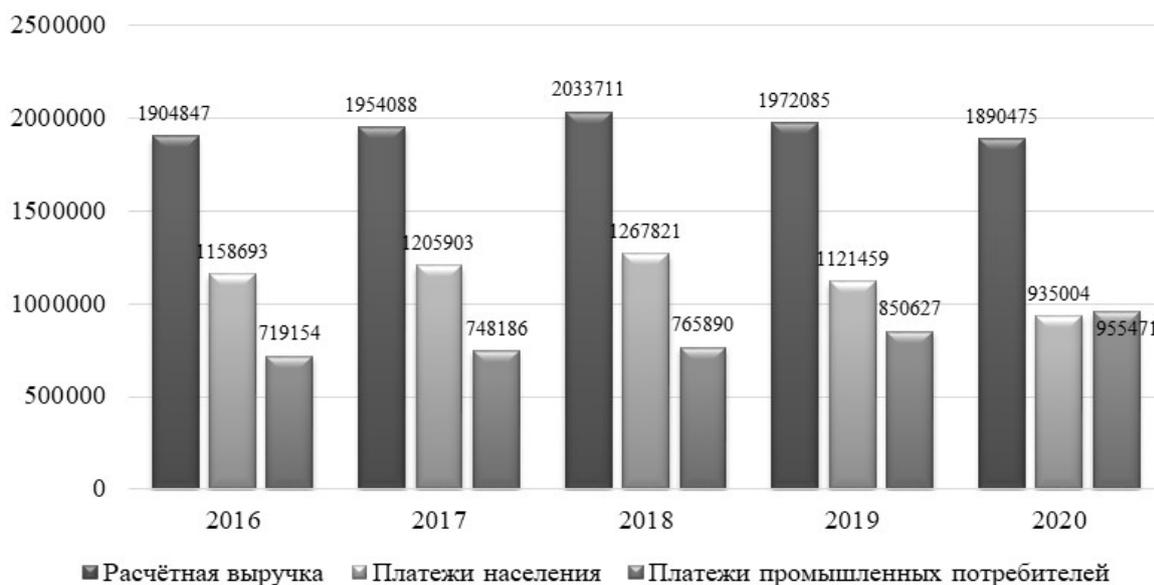


Рисунок 4 – Выручка в сфере теплоснабжения в 2016–2020 гг., млн руб.

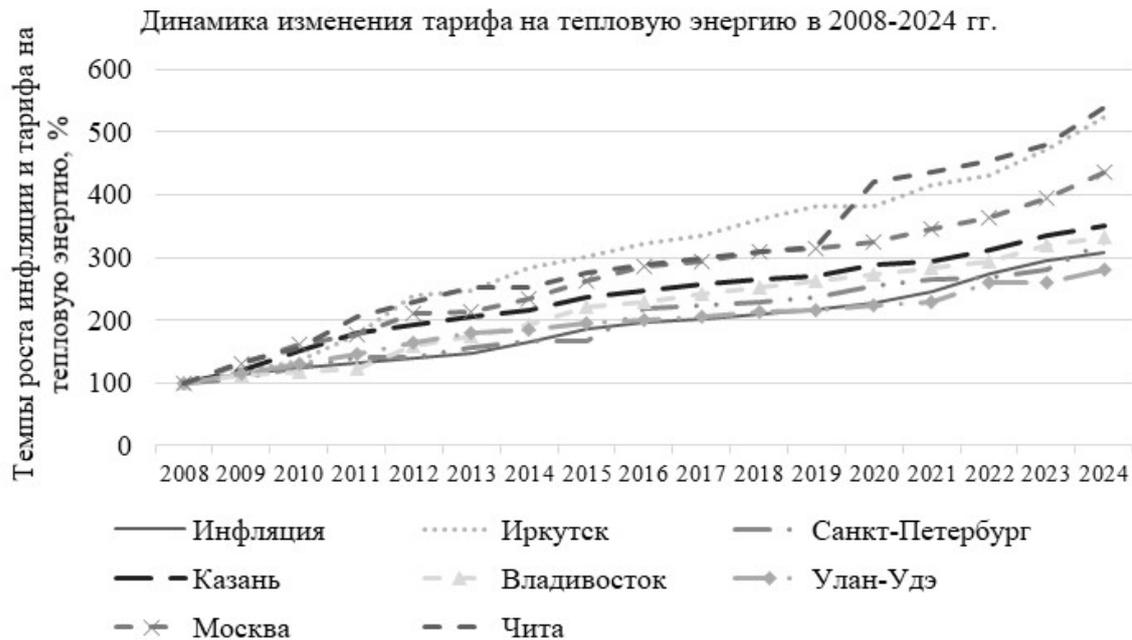


Рисунок 5 – Динамика изменения тарифа на тепловую энергию по городам РФ в 2008–2024 гг., %.

организаций и только 3% – банковские кредиты). Привлеченные кредиты банков на уровне 3% всех инвестиций в сферу теплоснабжения говорят о низкой инвестиционной привлекательности отрасли [3].

В настоящее время ответственность за теплоснабжение возложена на муниципальные органы власти. Другие структуры государственной власти устраняются от решения назревших проблем, например не выдерживаются температурные графики и отличаются от проектных, компенсация снижения температуры в подающем и обратном трубопроводе снижает эффективность функционирования системы ЦТ и приводит к увеличению расхода теплоносителя, постоянно необходимо решать вопросы организации химводоподготовки на источниках теплоснабжения для снижения уровня внутренней коррозии трубопроводов.

С 2010 г. в Европе и мире происходит интенсивное развитие систем теплоснабжения и переход к 3 и 4 поколению систем теплоснабжения. Передовые европейские страны сегодня находятся на этапе перехода от четвертого к пятому поколению энергосистем. Снижение потерь тепла при передаче в этом случае будет уменьшено примерно на 35% (что соответствует фактическому исследованию), что, очевидно, приведет

к положительному снижению тарифов на централизованное теплоснабжение [7, 18, 19].

Анализируя данные, приведённые в таблице 2 можно отметить что учитывая серьёзные проблемы, Российские системы централизованного теплоснабжения находятся на второй ступени развития с тенденциями перехода к следующим третьему и четвёртому поколениям (применение возобновляемых источников энергии, цифровых технологий на этапе проектирования и эксплуатации объектов энергетики, повышение энергоэффективности зданий, модернизация тепловых пунктов и котельных, повышение уровня автоматизации, использование пластинчатых теплообменников и труб из полимерных материалов, проводятся исследования и анализ опыта развитых стран).

Выводы

Выявлены проблемы систем централизованного теплоснабжения на современном этапе, характерные для большинства систем теплоснабжения. В России, одной из самых холодных стран, теплоснабжение – важнейшая отрасль, которая определяет нормальные условия жизни людей, социальную стабильность, конкурентоспособность

Таблица 2. Поколения развития систем теплоснабжения

Поколения развития теплоэнергетики по годам	Структура системы централизованного теплоснабжения	Особенности системы	Параметры теплоносителя
1 поколение. 1880–1930 гг.	Один или несколько источников теплоты, тепловые сети, потребители теплоты. Твёрдотопливные источники энергии.	Паровое отопление с температурой пара выше 100 °С. Высокие потери тепловой энергии. Широкое использование на промышленных объектах.	Пар < 200 °С
2 поколение. 1930–1980 гг.	Один или несколько источников теплоты, тепловые сети, потребители теплоты. Использование твердотопливных источников энергии. Развитие систем коммунально-бытового назначения.	Водяное отопление с температурой сетевой воды выше 100 °С и повышенным давлением. Высокие теплотери.	Сетевая вода >100 °С
3 поколение. 1980–2020 гг.	Развитое повсеместное применение централизованных систем. Использование преимущественно твёрдого и газообразного топлива и возобновляемых источников энергии (энергетическое использование биомассы, солнечной энергии, мусоросжигания).	Водяное отопление с температурой сетевой воды 70–100 °С; относительно высокие тепловые потери, внедряются энергосберегающие мероприятия. Возобновляемые источники энергии интегрированы в сеть теплоснабжения.	Сетевая вода <100 °С
4 поколение. 2020–2050 гг. (прогнозируемые границы)	Используются возобновляемые источники энергии с низким потенциалом, такие как солнечная и ветровая энергия, биомасса, геотермальные источники, сжигание отходов, тепловые насосы, сезонный тепловой аккумулятор. Высокая эффективность достигается благодаря применению цифровых технологий на протяжении всего жизненного цикла объекта теплоснабжения.	Системы модернизируются каждые 20–30 лет, превращаясь в интегрированную интеллектуальную систему. Сниженные до минимума потери тепловой энергии. Повышение энергоэффективности зданий остаётся одной из основных задач, как и внедрение интеллектуальных энергетических систем.	Сетевая вода 50–70 °С
5 поколение. 2050 г. и далее (прогнозируемые границы)	Энергетические системы интегрированные, экологически чистые и интеллектуальные. Комбинированное интеллектуальное системное планирование включает низкопотенциальный источник теплоты и тепловой аккумулятор, здания с низкими теплотерями и автоматизацией, интеллектуальную сеть и систему управления, вторичные источники и ВИЭ-генерацию.	Разрабатываются оптимизированные модели теплоснабжения, адаптированные к их географическим особенностям, природным ресурсам, климату и экономике. Теплопотерь практически нет.	Сетевая вода < 50 °С

экономики страны, её независимость. Анализ тенденций развития современных систем теплоснабжения показывает, что необходимы эффективные реформы и средства на передовые

проекты по модернизации систем централизованного теплоснабжения, а не ремонтов изношенных и морально устаревших котельных и тепловых сетей, как в предыдущий период.

Литература

1. Стенников, В. А. Проблемы российского теплоснабжения и пути их решения / В. А. Стенников, А. В. Пеньковский. – DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2019-9-48-69. – Текст : электронный // ЭКО. – 2019. – № 9. – С. 48–69. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemny-rossiyskogo-teplosnabzheniya-i-puti-ih-resheniya/viewer> (дата обращения: 03.03.2024).
2. Таймаров, М. А. Газоснабжение жилых и производственных объектов с применением энергосберегающих технологий / М. А. Таймаров, Ю. В. Лавирко. – DOI: 10.52409/20731523_2021_3_50. – Текст : электронный // Известия КГАСУ. – 2021. – № 3(57). – С. 50–60. – URL: https://izvestija.kgasu.ru/files/3_2021/таймаров%20лавирко.pdf (дата обращения: 05.03.2024).
3. Семикашев, В. В. Теплоснабжение в России: текущая ситуация и проблемы инвестиционного развития / В. В. Семикашев. – DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2019-9-23-47. – Текст : электронный // ЭКО. – 2019. – № 9. – С. 23–47. – URL: <http://www.csl.isc.irk.ru/BD/Журналы/ЭКО%202019/№%209/23-47.pdf> (дата обращения: 05.03.2024).
4. Садуба, Т. Р. Анализ и сравнение систем теплоснабжения в России и странах Европы / Т. Р. Садуба. – Текст : электронный // Шаг в науку. – 2023. – № 1. – С. 53–55. – URL: http://sts.osu.ru/articles/2023_1_53.pdf (дата обращения: 25.02.2024).
5. Лукьянов, А. В. Экологические вопросы применения теплогенераторов малой мощности для автономных систем теплоснабжения / А. В. Лукьянов, Д. Э. Рыбак. – Текст : электронный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2023. – Выпуск 2023-5(163) Инженерные системы и техногенная безопасность. – С. 64–68. – URL: [http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2023/2023-5\(163\)/st_10_lukyanov_rybak.pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2023/2023-5(163)/st_10_lukyanov_rybak.pdf) (дата обращения: 12.02.2024). – EDN: XRSXVG.
6. Антоненко, С. Е. Международный опыт переработки и утилизации солнечных панелей / С. Е. Антоненко, В. О. Дорохин. – Текст : электронный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2023. – Выпуск 2023-5(163) Инженерные системы и техногенная безопасность. – С. 69–75. – URL: [http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2023/2023-5\(163\)/st_11_antonenko_dorohin.pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2023/2023-5(163)/st_11_antonenko_dorohin.pdf) (дата обращения: 12.02.2024). – EDN: YRDNYA.

References

1. Stennikov, V. A.; Penkovskii, A. V. Problems of the Russian heat supply and ways of solving them. – Text : electronic. – In: *ECO*. – 2019. – № 9. – P. 48–69. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemny-rossiyskogo-teplosnabzheniya-i-puti-ih-resheniya/viewer> (date of access: 03.03.2024). – DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2019-9-48-69. (in Russian)
2. Taimarov, M. A., Lavirko, Yu. V. Gas supply to residential and industrial facilities using energy-saving technologies. – Text : electronic. – In: *Izvestiya KGASU*. – 2021. – № 3(57). – P. 50–60. – URL: https://izvestija.kgasu.ru/files/3_2021/таймаров%20лавирко.pdf (date of access: 05.03.2024). – DOI: 10.52409/20731523_2021_3_50. (in Russian)
3. Semikashev, V. V. Heat supply in Russia: current state and problems of investment development. – Text : electronic. – In: *ECO*. – 2019. – № 9. – P. 23–47. – URL: <http://www.csl.isc.irk.ru/BD/Журналы/ЭКО%202019/№%209/23-47.pdf> (date of access: 05.03.2024). – DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2019-9-23-47. (in Russian)
4. Saduba, T. R. Analysis and comparison of heat supply systems in Russia and European countries. – Text : electronic. – In: *Step into science*. – 2023. – № 1. – P. 53–55. – URL: http://sts.osu.ru/articles/2023_1_53.pdf (date of access: 25.02.2024). (in Russian)
5. Lukyanov, A. V.; Rybak, D. E. Environmental issues of the use of low-power heat generators for autonomous heat supply systems. – Text : electronic. – In: *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*. – Issue 2023-5(163) Engineering systems and technological safety. – P. 64–68. – URL: [http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2023/2023-5\(163\)/st_10_lukyanov_rybak.pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2023/2023-5(163)/st_10_lukyanov_rybak.pdf) (date of access: 12.02.2024). – EDN: XRSXVG.(in Russian)
6. Antonenko, S. E., Dorokhin, V. O. International experience in the disposal and recycling of solar panels. – Text : electronic. – In: *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*. – 2023. – Issue 2023-5(163) Engineering systems and technological safety. – P. 69–75. – URL: [http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2023/2023-5\(163\)/st_11_antonenko_dorohin.pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2023/2023-5(163)/st_11_antonenko_dorohin.pdf) (date of access: 12.02.2024). – EDN: YRDNYA. (in Russian)
7. Enkhjargal, H.; Namkhaynyam, B.; Butmand, L. [et al.]. Trends in the development of heat supply systems. – Text : electronic. – In: *Heat supply news*. –

7. Тенденции развития систем теплоснабжения / Х. Энхжаргал, Б. Намхайням, Л. Батмэнд [и др.]. – Текст : электронный // Новости теплоснабжения. – 2023. – № 1. – С. 16–25. – URL: https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=4289 (дата обращения: 03.03.2024).
8. Терентьева, А. С. Анализ основных проблем централизованного теплоснабжения в России на современном этапе / А. С. Терентьева. – DOI: 10.47711/2076-318-2020-253-273. – Текст : электронный // Научные труды : Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. – 2020. – № 18. – С. 253–273. – URL: <https://ecfor.ru/publication/problemu-tsentralizovannogo-teplosnabzheniya-v-rossii/> (дата обращения: 25.04.2024).
9. Аббасов, Ё. Современное состояние теплоэнергетики в Республике Узбекистан и перспективы ее развития / Ё. Аббасов, М. Умурзакова. – Текст : электронный // Общество и инновации. – 2020. – Выпуск 1, № 02. – С. 10–20. – URL: <https://inscience.uz/index.php/socinov/article/view/224/274> (дата обращения: 12.02.2024).
10. Field tests on the operational energy consumption of Chinese district heating systems and evaluation of typical associated problems / Yichi Zhang, Jianjun Xia, Hao Fang [et al.]. – DOI:10.1016/j.enbuild.2020.110269. – Текст : электронный // Energy and Buildings. – 2020. – Volume 224. – P. 1–12. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S03787788-20302176?via%3Dihub> (дата обращения: 12.02.2024).
11. Faults in district heating customer installations and ways to approach them: Experiences from Swedish utilities / Sara Mansson, Per-Olof Johansson Kallioniemi, Marcus Thern [et al.]. – DOI:10.1016/j.energy.2019.04.220. – Текст : электронный // Energy. – 2019. – Volume 180. – P. 163–174. – URL: <https://portal.research.lu.se/en/publications/faults-in-district-heating-customer-installations-and-ways-to-app> (дата обращения: 03.03.2024).
12. Zajacs, A. Assessment of development scenarios of district heating systems / A. Zajacs, A. Borodinecs. – DOI:10.1016/j.scs.2019.101540. – Текст : электронный // Sustainable Cities and Society. – 2019. – Volume 48. – P. 10–15. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S22106707-18322376?via%3Dihub> (дата обращения: 03.03.2024).
13. Johansen, K. Something is sustainable in the state of Denmark: A review of the Danish district heating sector / K. Johansen, S. Werner. – DOI:10.1016/j.rser.2022.112117. – Текст : электронный // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2022. – № 158. – P. 1–14. – URL: <https://vbn.aau.dk/en/publications/something-is-sustainable-in-the-state-of-denmark-a-review-of-the-> (дата обращения: 17.04.2024).
14. Чернышова, В. А. Способы продления срока службы подземных теплопроводов систем теплоснабжения / В. А. Чернышова, А. Ф. Салахова, Г. М. Ахмерова. – DOI:10.18411/lj-30-11-2017-63. – Текст : электронный // Тенденции развития науки и образования. – 2017. – № 32-4. – С. 71–73. – URL: 2023. – № 1. – P. 16–25. – URL: https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=4289 (date of access: 03.03.2024). (in Russian)
8. Terentyeva, A. S. Analysis of the main problems of centralized heat supply in Russia at the present stage. – Text : electronic. – In: *Scientific works : Institute of National Economic Forecasting of the Russian Academy of Sciences*. – 2020. – № 18. – P. 253–273. – URL: <https://ecfor.ru/publication/problemu-tsentralizovannogo-teplosnabzheniya-v-rossii/> (date of access: 25.04.2024). – DOI 10.47711/2076-318-2020-253-273.
9. Abbasov, Yo.; Umurzakova, M. Current state of the heat power industry in the Republic of Uzbekistan and prospects for its development. – Text : electronic. – In: *Society and innovations*. – 2020. – Issue 1, № 02. – P. 10–20. – URL: <https://inscience.uz/index.php/socinov/article/view/224/274> (date of access: 12.02.2024). (in Russian)
10. Zhang, Yichi; Xia, Jianjun; Fang, Hao [et al.]. Field tests on the operational energy consumption of Chinese district heating systems and evaluation of typical associated problems. – Text : electronic. – In: *Energy and Buildings*. – 2020. – Volume 224. – P. 1–12. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778820302176?via%3Dihub> (date of access: 12.02.2024). – DOI:10.1016/j.enbuild.2020.110269.
11. Mansson, Sara; Kallioniemi, Per-Olof Johansson; Thern, Marcus [et al.]. Faults in district heating customer installations and ways to approach them: Experiences from Swedish utilities. – Text : electronic. – In: *Energy*. – 2019. – Volume 180. – P. 163–174. – URL: <https://portal.research.lu.se/en/publications/faults-in-district-heating-customer-installations-and-ways-to-app> (date of access: 03.03.2024). – DOI:10.1016/j.energy.2019.04.220.
12. Zajacs, A.; Borodinecs, A. Assessment of development scenarios of district heating systems / A. Zajacs. – Text : electronic. – In: *Sustainable Cities and Society*. – 2019. – Volume 48. – P. 10–15. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670718322376?via%3Dihub> (date of access: 03.03.2024). – DOI:10.1016/j.scs.2019.101540.
13. Johansen, K.; Werner, S. Something is sustainable in the state of Denmark: A review of the Danish district heating sector. – Text : electronic. – In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2022. – № 158. – P. 1–14. – URL: <https://vbn.aau.dk/en/publications/something-is-sustainable-in-the-state-of-denmark-a-review-of-the-> (date of access: 17.04.2024). – DOI:10.1016/j.rser.2022.112117.
14. Chernyshova, V. A.; Salakhova, A. F.; Akhmerova, G. M. Methods for extending the service life of underground heat pipelines of heat supply systems. – Text : electronic. – In: *Trends in the development of science and education*. – 2017. – № 32-4. – P. 71–73. – URL: <https://doicodex.ru/doifile/lj/32/lj-30-11-2017-63.pdf> (date of access: 17.04.2024). – DOI: 10.18411/lj-30-11-2017-63. (in Russian)

- <https://doicode.ru/doifile/lj/32/lj-30-11-2017-63.pdf> (дата обращения: 17.04.2024).
15. Крайнов, Д. В. Климатические данные для расчета нестационарных теплопотерь через ограждающие конструкции в грунте / Д. В. Крайнов, И. А. Масленников. – DOI: 10.52409/20731523_2023_2_50. – Текст : электронный // Известия КГАСУ. – 2023. – № 2(64). – С. 50–59. – URL: https://izvestija.kgasu.ru/files/2_2023/5_50_59_Kraynov.pdf?ysclid=lwrlh5ilwu629247173 (дата обращения: 03.03.2024). – EDN: CTNNZV.
 16. Kraynov, D. Research of thermal performance properties of the wall construction products made of materials using heat power engineering waste / D. Kraynov, G. Medvedeva. – Текст : электронный // E3S Web of Conferences, Kazan, Russia, April 21–28, 2021. – 2021. – Volume 274. – P. 1–10. – URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2021/50/e3sconf_stcce2021_070-01.pdf (дата обращения: 25.04.2024).
 17. Пузаков, В. С. Схемы теплоснабжения городов России 10 лет спустя: опыт, проблемы, тенденции / В. С. Пузаков. – DOI: 10.47711/2076-3182-2023-1-55-74. – Текст : электронный // Научные труды: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. – 2023. – № 1. – С. 55–74. – URL: <https://ecfor.ru/publication/o-sostoyanii-sfery-teplo-snabzheniya-v-rf-energoeffektivnost/?ysclid=lwrm-5a57x2206060365> (дата обращения: 25.04.2024).
 18. Sarbu, I. A review of modelling and optimisation techniques for district heating systems / I. Sarbu, M. Mirza, E. Crasmareanu. – DOI: 10.1002/er.4600. – Текст : электронный // International Journal of Energy Research. – 2019. – № 43. – P. 6572–6598. – URL: <https://www.sci-hub.ru/10.1002/ER.4600?ysclid=lwroi1bo9o792962480> (дата обращения: 01.04.2024).
 19. Calculation of soil temperature at the intersection of the heating line of the underground gasket and gas pipeline taking into account real operating conditions / G. Akhmerova, A. Sibgatov, R. Badrutdinov [et al.]. – DOI:10.1051/e3sconf/20212740-8009. – Текст : электронный // E3S Web of Conferences. – 2021. – Volume 274. – P. 1–8. – URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2021/50/e3sconf_stcce2021_08009.pdf (дата обращения: 01.04.2024).
 15. Kraynov, D. V.; Maslennikov, I. A. Climatic data for calculating non-stationary heat losses through building envelopes in the ground. – Text : electronic. – In: *News of KGASU*. – 2023. – № 2(64). – P. 50–59. – URL: https://izvestija.kgasu.ru/files/2_2023/5_50_59_Kraynov.pdf?ysclid=lwrlh5ilwu629247173 (date of access: 03.03.2024). – DOI: 10.52409/20731523_2023_2_50. – EDN: CTNNZV. (in Russian)
 16. Kraynov, D.; Medvedeva, G. Research of thermal performance properties of the wall construction products made of materials using heat power engineering waste. – Text : electronic. – In: *E3S Web of Conferences, Kazan, Russia, April 21–28, 2021*. – 2021. – Volume 274. – P. 1–10. – URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2021/50/e3sconf_stcce2021_07001.pdf (date of access: 25.04.2024).
 17. Puzakov, V. S. Heat Supply Schemes of Russian Cities 10 Years Later: Experience, Problems, Trends. – Text : electronic. – In: *Scientific works: Institute of Economic Forecasting of the Russian Academy of Sciences*. – 2023. – № 1. – P. 55–74. – URL: <https://ecfor.ru/publication/o-sostoyanii-sfery-teplo-snabzheniya-v-rf-energoeffektivnost/?ysclid=lwrm-5a57x2206060365> (date of access: 25.04.2024). – DOI: 10.47711/2076-3182-2023-1-55-74. (in Russian)
 18. Sarbu, I.; Mirza, M.; Crasmareanu, E. A review of modelling and optimisation techniques for district heating systems. – Text : electronic. – In: *International Journal of Energy Research*. – 2019. – № 43. – P. 6572–6598. – URL: <https://www.sci-hub.ru/10.1002/ER.4600?ysclid=lwroi1bo9o792962480> (date of access: 01.04.2024). – DOI: 10.1002/er.4600.
 19. Akhmerova, G.; Sibgatov, A.; Badrutdinov, R. [et al.]. Calculation of soil temperature at the intersection of the heating line of the underground gasket and gas pipeline taking into account real operating conditions. – Text : electronic. – In: *E3S Web of Conferences*. – 2021. – Volume 274. – P. 1–8. – URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2021/50/e3sconf_stcce2021_08009.pdf (date of access: 01.04.2024). – DOI:10.1051/e3sconf/202127408009.

Ларионова Анна Сергеевна – студент-бакалавр направления «Инженерные системы жизнеобеспечения в строительстве» ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет». Научные интересы: развитие теплоэнергетики и повышение энергоэффективности тепловых сетей.

Сибгатов Айрат Раисович – инженер-проектировщик отдела «Проектное бюро» АО «Казэнерго» и студент-магистр направления «Системы теплогазоснабжения и вентиляции» ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет». Научные интересы: развитие теплоэнергетики и повышение энергоэффективности тепловых сетей.

Алмакаев Карим Радикович – студент-бакалавр направления «Инженерные системы жизнеобеспечения в строительстве» ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет». Научные интересы: развитие теплоэнергетики и повышение энергоэффективности тепловых сетей.

Ахмерова Гузель Мневеровна – кандидат педагогических наук, доцент кафедры теплоэнергетики, газоснабжения и вентиляции ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет». Научные интересы: проблемы систем централизованного теплоснабжения на современном этапе, технические решения по увеличению срока эксплуатации и надёжности тепловых сетей, выбор оптимального температурного графика системы теплоснабжения.

Larionova Anna – bachelor's student in the field of «Engineering Life Support Systems in Construction», FSBEI HE «Kazan State University of Architecture and Engineering». Scientific interests: development of thermal power engineering and improvement of energy efficiency of heating networks.

Sibgatov Airat – project engineer of the Project Office department of Kazenergo JSC and a master's student in the field of «Heat and gas supply and ventilation systems», FSBEI HE «Kazan State University of Architecture and Engineering». Scientific interests: development of thermal power engineering and improvement of energy efficiency of heating networks.

Almakaev Karim – bachelor's student in the field of «Engineering Life Support Systems in Construction», FSBEI HE «Kazan State University of Architecture and Engineering». Scientific interests: development of thermal power engineering and improvement of energy efficiency of heating networks.

Akhmerova Guzel – candidate of Pedagogy Sciences, Associate Professor, Heat power engineering, gas supply and ventilation Department, FSBEI HE «Kazan State University of Architecture and Engineering». Scientific interests: problems of district heating systems at the present stage, technical solutions to increase the service life and reliability of heating networks, the choice of the optimal temperature schedule of the heat supply system.