

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2025. Т. 27. № 5. С. 200–210.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2025; 27 (5): 200–210.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 621.577

DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-5-200-210

EDN: RDZSHW

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ В ГОРОДЕ ПЕРМИ

Владимир Сергеевич Ивашкин, Александр Иванович Бурков

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
г. Пермь, Россия*

Аннотация. В статье рассмотрен вопрос применения теплонасосной установки в индивидуальном жилом доме в г. Перми. Представлены законодательные документы, обосновывающие использование альтернативной и возобновляемой энергетики.

Актуальность настоящего исследования обусловлена повышением значимости экономии природных ресурсов и, соответственно, их меньшего расхода. Вопрос постепенного увеличения потребности в тепловой энергии возможно решить благодаря использованию альтернативных источников энергии.

Целью работы является анализ полученных данных мониторинга параметров теплонасосной установки и рассмотрение вопроса эффективности применения теплонасосной установки в условиях г. Перми.

Результаты. Проведен анализ применения теплонасосных установок как в России, так и в других странах. Представлены данные, полученные в результате мониторинга параметров теплонасосной установки и проведен их анализ. На основании результатов мониторинга оценена эффективность использования теплонасосной установки в зимний период года. Проведена экономическая оценка геотермальной системы отопления в здании в сравнении с другими наиболее распространенными аналогами с учетом климатических условий. Рассчитан период окупаемости системы отопления с применением теплового насоса, рассмотрены факторы, оказывающие влияние на его длительную работу в системе отопления.

Ключевые слова: теплонасосная установка, тепловой насос, энергоэффективность, теплоснабжение, альтернативные источники энергии, источники низкопотенциальной энергии

Для цитирования: Ивашкин В.С., Бурков А.И. Применение теплонасосной установки в городе Перми // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2025. Т. 27. № 5. С. 200–210. DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-5-200-210. EDN: RDZSHW

ORIGINAL ARTICLE

HEAT PUMP SYSTEM APPLICATION IN THE CITY OF PERM

Vladimir S. Ivashkin, Aleksandr I. Burkov

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia

Abstract. The relevance of this study is due to the increasing importance of saving natural resources and, accordingly, their lower consumption. The growing need for thermal energy can

be solved through the use of alternative energy sources. The article considers the application of the heat pump system in an individual residential building in Perm. Legislative documents substantiating the use of alternative and renewable energy are presented.

Purpose: The analysis of the data obtained for parameter monitoring of the heat pump system and consideration of the efficiency of using it in Perm.

Research findings: The analysis of the heat pump system application is provided for Russia and other countries. The obtained parameters of monitoring the heat pump system are presented and analyzed. Based on the results, the efficiency of using the heat pump system in winter is assessed. With respect to climatic conditions, the economic evaluation is conducted for the geothermal heating system in the building in comparison with other most common analogs. The payback period is calculated for the heating system with a heat pump. Factors influencing the long-term operation of the heat pump in the heating system are considered herein.

Keywords: heat pump system, energy efficiency, heat supply, alternative energy sources, low-potential energy

For citation: Ivashkin V.S., Burkov A.I. Heat Pump System Application in the City of Perm. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2025; 27 (5): 200–210. DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-5-200-210. EDN: RDZSHW

Введение

В течение последних 20–30 лет спрос на тепловые ресурсы стабильно растёт. Соответственно, растёт и предложение, что стимулирует к развитию новых технологий в области теплоснабжения и улучшению уже существующих. В последнее десятилетие наблюдается тенденция к переходу от традиционных источников энергии к альтернативным. Данная тенденция связана с несколькими факторами, такими как истощаемость природных ресурсов, изменение стоимости различных ресурсов и соответствующих установок для теплогенерации, экологическая составляющая и др.

Применение альтернативных источников энергии позволяет решать многие вопросы. В частности, появляется возможность создавать установки для автономного энергоснабжения, что является более рациональным решением, например, при условиях удалённости от централизованных систем. Кроме того, подобные установки способны конкурировать с традиционными системами энергоснабжения, т. к. могут быть энергоэффективными, экономичными и экологичными.

Одним из решений в области теплоснабжения зданий является применение теплонасосных установок. Теплонасосные установки позволяют использовать возобновляемые источники энергии и вторичные энергоресурсы, при этом обеспечивая требуемые параметры для теплоснабжения здания. По тематике теплонасосных установок проводится множество исследований, в том числе с точки зрения экономической эффективности, экологической эффективности, возможности использования в совокупности с другими возобновляемыми источниками энергии [1–3].

В настоящее время в нашей стране значительно усилилось внимание к вопросам энергосбережения, в частности, в области нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. Разрабатывается государственная программа Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности» на период до 2035 г. 26 октября 2023 г. была подписана Климатическая доктрина РФ, в которой сделан акцент на развитии использова-

ния возобновляемых и альтернативных источников энергии. Кроме того, существует множество законодательных актов, способствующих внедрению возобновляемых и нетрадиционных источников энергии. К ним относятся федеральные законы, указы президента РФ, постановления правительства РФ, приказы Министерства энергетики РФ и т. д. [4].

Объектом исследования является геотермальный тепловой насос NIBE F1245-8.

Цель исследования – получение данных, необходимых для расчета.

Задачи исследования:

- изучение технического решения системы отопления объекта;
- проведение измерений необходимых показателей;
- анализ полученных результатов;
- экономическая оценка наиболее распространенных систем отопления для данного объекта.

Низкопотенциальная тепловая энергия

Под низкопотенциальными источниками энергии понимаются такие энергетические ресурсы, у которых относительно низкая температура и относительно большой объем. Принципиально можно выделить 2 группы источников низкопотенциальной тепловой энергии: естественные (возобновляемые источники энергии) и искусственные (вторичные энергетические ресурсы). К возобновляемым источникам энергии относятся: окружающий воздух, грунтовые и геотермальные воды, природные воды (реки, моря и др.), солнечная энергия, грунт. К вторичным энергетическим ресурсам относятся: канализационные стоки, вентиляционные выбросы, теплота технологических процессов и др.

Кроме того, можно выделить 3 источника низкопотенциальной энергии: воздух, вода, грунт. Особенности использования воздуха являются переменная температура и низкие значения коэффициента теплоотдачи, что является относительным недостатком применения воздуха в качестве источника теплоты. В свою очередь, применение воды может быть более выгодным, в особенности если рассматривать водный источник, расположенный на относительно большой глубине. В таком случае температура воды в течение года будет более стабильна, чем в случае с воздухом. В свою очередь, преимуществами грунта являются его доступность и относительно стабильная температура в течение года. Теплоту грунта используют в летний период для кондиционирования, а в зимний – для отопления. Таким образом, можно поддерживать баланс отдаваемого и забираемого тепла из грунта в течение года [5].

Теплонасосная установка

Теплонасосная установка представляет собой устройство, предназначенное для использования энергии, получаемой от источника тепла, в частности от источника низкопотенциальной тепловой энергии, и передачи тепловой энергии к потребителю. Эффективность теплонасосной установки зависит от многих параметров, в том числе от характеристик самой установки, источника тепловой энергии и пр. С каждым годом все чаще подвергаются сравнению системы отопления с использованием тепловых насосов и газовых котлов. При

больших первоначальных затратах на установку теплового насоса и грунтового теплообменника в долгосрочной перспективе такое оборудование экономически более выгодно, чем использование газовых установок [6–8]. При этом если существует возможность подключения к централизованной системе отопления, то должна быть проведена оценка экономической эффективности применения теплонасосных установок в сравнении с централизованным отоплением. Исследования показывают, что оптимальным может быть совместное применение вышеперечисленных источников тепловой энергии за счет их использования в разное время [9].

Тепловые насосы получили относительно широкое распространение в мире. Так, более 40 лет тепловые насосы применяются в США, Швеции, Финляндии и ряде других стран. Кроме того, существуют различные государственные программы, например, в Германии предусмотрена дотация на установку теплового насоса. В Италии предусмотрен налоговый вычет 65 % для расходов на повышение энергоэффективности зданий [10].

В настоящее время в России тепловые насосы применяются как альтернатива другим видам теплоснабжения на различного рода объектах. При этом в качестве источника низкопотенциальной энергии используются грунтовые воды, сбросные воды, питьевая вода из водозабора, сбросная технологическая вода, термальная вода, системы охлаждения турбин и др. [11, 12].

При использовании грунта в качестве источника низкопотенциальной энергии тепло из грунта извлекается горизонтальным или вертикальным теплообменником, сделанным из труб, называемых коллектором. Тепло передается в насос рассолом. Горизонтальный коллектор требует больших площадей на участке установки и проведения большого объема земляных работ. Для вертикального коллектора, в свою очередь, необходимы большие расходы на бурение скважин, т. к. подобные теплообменники достигают глубин 50 м и более [13].

Исследования, проведенные в Швейцарии, показали, что для вертикальных грунтовых теплообменников влияние солнечной радиации и температуры воздуха происходит на глубине вплоть до 15 м. Таким образом, наблюдалось изменение температуры грунтового массива на глубине более 15 м для оценки влияния постоянного забора тепла на грунтовый массив в течение длительного времени. Было определено, что температура грунта начинает постепенно уменьшаться, а грунтовый массив, подверженный понижению температуры, постепенно увеличивается. Следовательно, снижается эффективность работы теплонасосной установки. В связи с этим появляется необходимость соблюдения теплового баланса грунта, для чего в летний период года из грунта забирается тепло. Такой подход позволяет сохранять среднюю температуру грунта в течение года. Кроме того, в этом случае сохраняется эффективность работы теплонасосной установки как в зимний период года, так и в летний [14].

Применение теплонасосных установок возможно как для новых зданий, так и для существующих, в том числе частных жилых, многоквартирных, административных, производственных. Однако стоит учитывать, что эффективность теплонасосной установки зависит от многих факторов, часть из которых связана непосредственно с самим зданием и потребностью в тепловых ресурсах для этого здания. Зарубежные исследования в странах с опытом применения теплонасос-

ных установок в системах отопления показывают, что не всегда можно однозначно определить критерии даже для типовых серий зданий и могут потребоваться дополнительные вложения в каждом индивидуальном случае [15].

Экспериментальная часть

Экспериментальные измерения проводились на объекте в г. Перми, в микрорайоне Ива-1. Период регистрации данных – с 27.12.2022 г. по 08.08.2023 г.

Объект представляет собой индивидуальный жилой дом площадью 159 м². Система отопления выполнена с применением технологии теплого пола. Источником тепла для системы отопления является геотермальный тепловой насос NIBE F1245-8 мощностью 8 кВт с встроенным электрическим котлом. В качестве грунтового коллектора проектом предусмотрены 3 скважины по 55 м в глубину каждая, в которых проложены трубы ПНД Ø40 мм. В качестве теплоносителя для системы отопления применяется вода. Бетонная система теплого пола двухтрубная, с нижней разводкой. В качестве нагревательных приборов системы напольного отопления используются полиэтиленовые трубопроводы РЕХ с EVON Ø16 мм. Всего проектом заложено 19 петель с общей длиной 920 м.

Визуальное представление данных было получено в программе NIBE Uplink. Перечень параметров с описанием и средним количеством измерений в день представлено в табл. 1. Среднее количество измерений в день для каждого параметра разное, т. к. каждый датчик производит запись, когда значение изменяется на определенный процент от текущего, следовательно, чем меньше изменяется параметр, тем меньше произведено измерений.

Таблица 1

Параметры теплового насоса

Table 1

Heat pump parameters

Датчик	Описание	Среднее кол-во измерений в день
BT7	Температура в верхней части водонагревателя	6
BT6	Температура в середине водонагревателя	5
BT1	Датчик температуры снаружи	31
BT50	Датчик температуры в помещении	6
BT2	Датчики температуры потока теплоносителя	47
S1	Расчетная температура подачи	18
EB100-EP14-BT3	Датчики температуры возврата теплоносителя	35
EB100-EP14-BT10	Температура теплоносителя на входе в установку	45
EB100-EP14-BT11	Температура теплоносителя на выходе из установки	42
EB100-EP14	Время работы компрессора	13

Результаты

Чтобы оценить эффективность работы теплового насоса, рассмотрим показатели температуры в помещении и снаружи на рис. 1.

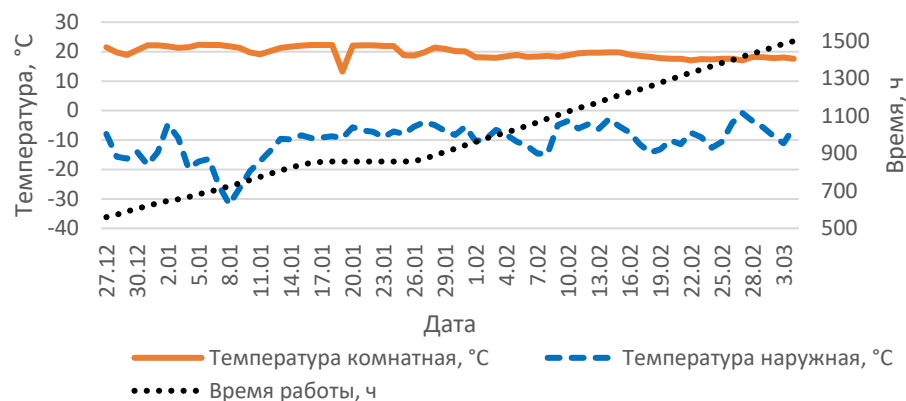


Рис. 1. Графики внутренней и наружной температуры, время работы установки
Fig. 1. Dependences between internal and external temperatures and the system operating time

На графике представлены данные за период с 27.12.2022 г. по 03.03.2023 г. В этот промежуток времени температура воздуха в здании была в пределах 18–23 °С, кроме 19.01.2023 г., когда температура опустилась до 13,2 °С. Данный спад связан с тем, что 18.01.2023 г. тепловой насос отключился из-за автоматики в связи с техническими неполадками. Как видно из графика времени работы, тепловой насос не работал с 18.01.2023 г. по 25.01.2023 г., в это время в здании использовался резервный источник теплоснабжения, вследствие чего спад температуры наблюдался в течение всего одного дня. Теплонасосная установка показала свою эффективность при различных температурах воздуха в зимний период, которая варьировалась в промежутке от –0,9 °С до –36,7 °С. В течение всего периода работы теплового насоса в здании обеспечивалась расчетная температура воздуха. За период измерений тепловой насос проработал 940 ч за 67 дней. Время работы теплового насоса по дням представлено на рис. 2.

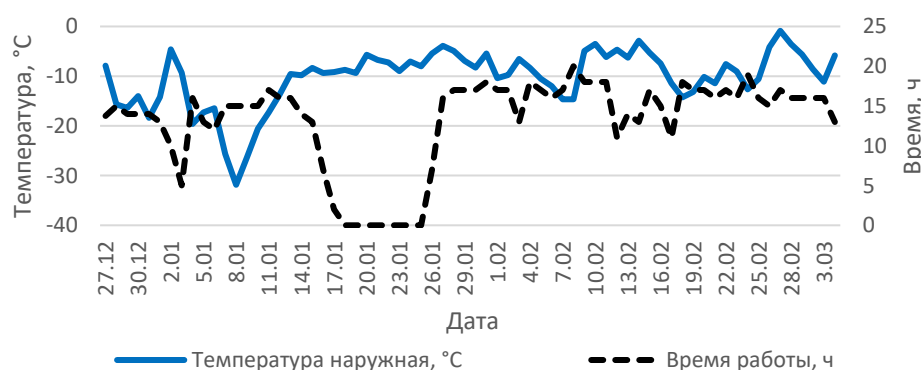


Рис. 2. Время работы теплового насоса
Fig. 2. Heat pump operating time

Как видно из графика, тепловой насос в среднем работал 10–19 ч в день. Кроме того, в период работы теплового насоса можно наблюдать обратно пропорциональную зависимость между температурой воздуха и временем работы теплового насоса. Наиболее наглядно это видно с 01.01.2023 г. по 03.01.2023 г. В этот период средняя температура наружного воздуха увеличилась с -14°C до $-4,6^{\circ}\text{C}$, следовательно, потребность в тепловых ресурсах в этот период уменьшилась, и время работы теплового насоса сократилось с 13 до 5 ч в день.

С точки зрения экономической эффективности стоит рассмотреть геотермальную систему отопления в сравнении с другими наиболее распространенными системами. Такими в Пермском крае для индивидуальных жилых домов являются электрическая и газовая системы отопления. В соответствии с этим был произведен расчет и сравнительный анализ данных систем.

Согласно расчету, нагрузка на систему отопления составляет 8,2 кВт. По проекту для геотермальной системы отопления подобран тепловой насос NIBE F1245-8 мощностью 8 кВт. Подберем примерно аналогичные по мощности устройства для альтернативных систем отопления. Для использования природного газа выбран газовый котел Fondital MINORCA CTFS 15, удовлетворяющий требованиям по площади здания и мощности системы отопления. Стоимость каждой системы рассматривалась под ключ и составила: для геотермального отопления $\sim 1\,100\,000$ руб., для газового отопления – 329 011,76 руб., для электрического отопления (электрические конвекторы) $\sim 350\,000$ руб.

Стоимость установки системы газового отопления была получена при помощи калькулятора «Газпром газораспределение», в котором учитывается стоимость оборудования и монтажа [16]. Стоимость установки геотермального отопления была получена исходя из данных проекта с учетом изменения цен на 3-й квартал 2023 г. Стоимость установки электрического оборудования была получена из текущих цен на оборудование, монтажные и пусконаладочные работы.

Кроме стоимости установки системы отопления, также необходимо учитывать эксплуатационные затраты. Для газового отопления было принято: расход природного газа – 6000 м^3 (число может варьироваться в пределах $4500\text{--}6500\text{ м}^3$ для данного здания), стоимость газа – $5,93\text{ руб/м}^3$ при условии наличия счетчика, замена котла – каждые 10 лет [17]. Для электрического отопления: замена котла – каждые 5 лет. Стоимость электроэнергии – $3,71\text{ руб/кВт}$ при одноставочном тарифе и наличии электроплиты и стоимость электроэнергии – $5,05\text{ руб/кВт}$ при одноставочном тарифе и подключении газа в здании [18]. Кроме того, для расчета была учтена инфляция в размере 7,5 % (средняя за 10 лет). Расчет был произведен на срок 20 лет, т. к. это средний срок службы геотермального оборудования. Результаты расчета приведены на рис. 3.

Из графика следует, что лучшими вариантами являются газовое и геотермальное отопления. В аналогичных исследованиях прошлых годов период окупаемости геотермального отопления составляет около 10 лет. При этом период окупаемости геотермального отопления для данного здания составляет 18–19 лет. Это связано с несколькими факторами, в том числе с текущей экономической ситуацией, из-за чего стоимость иностранных тепловых насосов значительно увеличилась. Кроме того, стоит учесть, что сравнение проводилось с уже установленным тепловым насосом. Если на сегодняшний день подбирать аналогичный по

параметрам насос, то можно найти насос тех же характеристик, но меньшей стоимости, что уменьшит период окупаемости на несколько лет.

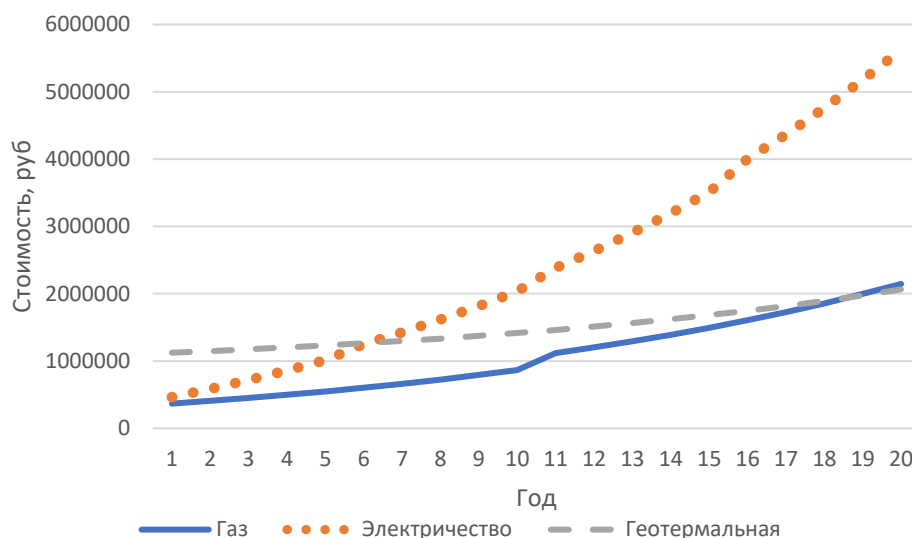


Рис. 3. Расходы на установку и эксплуатацию систем отопления по годам
Fig. 3. Fiscal year comparison of installation and operation costs of heating systems

В долгосрочной перспективе необходимо предусматривать ряд факторов. В первую очередь стоит учитывать, что разработка и производство отечественных тепловых насосов ведется постоянно, следовательно, повышается их надежность и эксплуатационные характеристики и понижается стоимость в процентном соотношении относительно роста стоимости альтернативных вариантов систем отопления. Кроме того, уменьшить эксплуатационные расходы можно при переходе с одноставочного тарифа на тариф, дифференцированный по двум или трем зонам суток в совокупности с установкой бака аккумулятора тепловой энергии. Таким образом можно производить тепло в период суток с наименьшей стоимостью электроэнергии, накапливать его и расходовать в период потребности в тепловой энергии. Другим важным фактором является то, что наблюдается тенденция на увеличение стоимости природного газа из-за его ограниченных запасов и изменение цены на электроэнергию из-за нарастающего использования альтернативных источников энергии. Так, например, в европейских странах наблюдается тенденция на снижение стоимости электроэнергии при ее перепроизводстве альтернативными источниками. Эти факторы приводят к тому, что период окупаемости геотермальной установки может сократиться еще на 3–7 лет в ближайшие десятилетия.

При сравнении газовой и геотермальной систем отопления стоит отметить, что при относительно одинаковых затратах в промежутке 20 лет у геотермального отопления есть два преимущества. Первое – это возможность устройства такой системы практически на любой территории, т. е. автономность установки. Второе – возможность использования теплого насоса в летний период года для холодоснабжения здания, при этом в грунт будет возвращаться тепло,

которое отбиралось в зимний период времени, что в долгосрочной перспективе позволит сохранить тепловой баланс в области скважин.

Заключение

Альтернативные и возобновляемые источники энергии имеют большой потенциал для применения в современных установках обеспечения тепловой энергией. На сегодняшний день уже существует опыт использования подобных установок во многих странах и на различных объектах, начиная от небольших зданий, заканчивая применением установок в централизованном отоплении крупных городов.

Результаты измерений на объекте, расположенном в г. Перми, показали, что теплонасосная установка в совокупности с теплым полом может обеспечивать требуемые параметры микроклимата в здании. Соответственно, в данных климатических условиях использование теплонасосной установки в качестве единственного источника тепловой энергии может быть оправданно. С экономической точки зрения теплонасосная установка сравнима с газовой установкой в долгосрочной перспективе. Однако теплонасосная установка может применяться для холодоснабжения в теплый период года, что является весомым преимуществом.

Использование теплонасосных установок в России может быть обоснованно при разных климатических, географических и прочих условиях. Исходя из отечественного и зарубежного опыта, можно сделать вывод, что при рациональном применении теплонасосных установок они способны обеспечивать потребителей относительно экономичной, экологичной, стабильной тепловой энергией.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Martínez-Rodríguez G., Baltazar J-C., Fuentes-Silva A.* Heat and electric power production using heat pumps assisted with solar thermal energy for industrial applications // *Energy*. 2023. V. 282. DOI: 10.1016/j.energy.2023.128379
2. *Kijo-Kleczkowska A., Brus P., Więciorkowski G.* Economic analysis of heat pump exploitation – A case study // *Energy*. 2023. V. 280. DOI: 10.1016/j.energy.2023.128184
3. *Srinivas T., Saxena A., Baba S.V., Kukreja R.* Experimental and simulation studies on heat pump integration two stage desalination and cooling system // *Energy Nexus*. 2023. V. 11. DOI: 10.1016/j.nexus.2023.100221
4. *Соколов В.Ю., Митрофанов С.В., Наумов С.А., Садчиков А.В.* Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Оренбург : ОГУ, 2019. 145 с.
5. *Дзино А.А., Малинина О.С.* Тепловые насосы. Санкт-Петербург : ИТМО, 2016. 43 с.
6. *Легких Б.М.* Экономическая эффективность использования тепловых насосов в жилом строительстве // *Научные труды Вольного экономического общества России*. 2020. Т. 224. № 4. С. 421–434. DOI: 10.38197/2072-2060-2020-224-4-421-434
7. *Гурина Е.В., Хорошева Л.Н.* Экономическая эффективность использования геотермального отопления в уральских условиях на примере г. Перми // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика*. 2023. № 1. С. 53–63. DOI: 10.15593/2409-5125/2023.01.05
8. *Мохова А.А., Зекин В.Н.* Эффективность применения теплового насоса в домах усадьбного типа // *Вестник науки*. 2022. Т. 3. № 11. С. 252–263. EDN: EKHLZF
9. *Pesola A.* Cost-optimization model to design and operate hybrid heating systems – Case study of district heating system with decentralized heat pumps in Finland // *Energy*. 2023. V. 281. DOI: 10.1016/j.energy.2023.128241

10. Шестернёва А.М., Титаренко О.Н., Скакун Г.С. Актуальность замены действующей отопительной котельной на теплонасосную установку // Энергетические установки и технологии. 2022. Т. 8. № 1. С. 71–77.
11. Трубаев П.А. Тепловые насосы. Белгород : Изд-во БГТУ, 2010. 143 с.
12. Аникина И.Д., Сергеев В.В., Амосов Н.Т. Оценка потенциала вторичных источников низкопотенциальной теплоты ТЭЦ с целью использования в теплонасосных установках // Неделя науки СПбПУ. Санкт-Петербург, 2016. С. 3–5.
13. Кайсын С., Швец А., Халаим Н. Возобновляемые источники энергии. Кишинев : [б. и.], 2015. 188 с.
14. Амерханов Р.А., Кириченко А.С., Усков А.Е., Соболев А.Н. Теплонасосные установки. Москва : ООО «Инновационное машиностроение», 2022. 258 с.
15. Terry N., Galvin R. How do heat demand and energy consumption change when households transition from gas boilers to heat pumps in the UK // Energy & Buildings. 2023. V. 292. DOI: 10.1016/j.enbuild.2023.113183
16. Предварительный расчет стоимости газификации // Газпром газораспределение Пермь : [сайт]. URL: <https://www.ugaz.ru/ks/kalkulyator/> (дата обращения: 24.10.2023).
17. Тарифы // Газпром межрегионгаз Пермь : [сайт]. – URL: <https://www.permrg.ru/abonents/ptl/> (дата обращения: 24.10.2023).
18. Тарифы для населения и приравненных к нему категорий 2023 // Пермэнергосбыт : [сайт]. URL: <https://permenenergobyt.ru/populations/tarify-dlya-naseleniya-i-priravennyh-k-nemu-kategoriy-2023/> (дата обращения: 24.10.2023).

REFERENCES

1. Martínez-Rodríguez G., Baltazar J-C., Fuentes-Silva A. Heat and Electric Power Production using Heat Pumps Assisted with Solar Thermal Energy for Industrial Applications. *Energy*. 2023; 282. DOI: 10.1016/j.energy.2023.128379
2. Kijo-Kleczkowska A., Brus P., Więciorkowski G. Economic Analysis of Heat Pump Exploitation – A Case Study. *Energy*. 2023; 280. DOI: 10.1016/j.energy.2023.128184
3. Srinivas T., Saxena A., Baba S.V., Kukreja R. Experimental and Simulation Studies of Heat Pump Integration Two Stage Desalination and Cooling System. *Energy Nexus*. 2023; 11: 100221. DOI: 10.1016/j.nexus.2023.100221
4. Sokolov V.Yu., Mitrofanov S.V., Naumov S.A., Sadchikov A.V. Non-Traditional and Renewable Energy Sources. 2019. 145 p. (In Russian)
5. Dzino A.A., Malinina O.S. Heat Pumps. Saint-Petersburg, 2016. 43 p. (In Russian)
6. Legkikh B.M. Economic Efficiency of Heat Pumps and Residential Construction. *Nauchnyye trudy Vol'nogo ekonomicheskogo obshchestva Rossii*. 2020; 224 (4): 421–434. DOI: 10.38197/2072-2060-2020-224-4-421-434 (In Russian)
7. Gurina Ye.V., Khorosheva L.N. Economic Efficiency of Geothermal Heat used in the Ural Conditions in Perm. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika*. 2023; 1: 53–63. DOI: 10.15593/2409-5125/2023.01.05. (In Russian)
8. Mokhova A.A., Zekin V.N. Heat Pump Efficiency in Manor-Type Houses. *Vestnik nauki*. 2022; 3 (11): 252–263. (In Russian)
9. Pesola A. Cost-Optimization Model to Design and Operate Hybrid Heating Systems – Case Study of District Heating System with Decentralized Heat Pumps in Finland. *Energy*. 2023; 281. DOI: 10.1016/j.energy.2023.128241
10. Shesternova A.M., Titarenko O.N., Skakun G.S. Relevance of Replacing Heating Boiler House with Heat Pump Unit. *Energeticheskiye ustanovki i tekhnologii*. 2022; 8 (1): 71–77. (In Russian)
11. Trubayev P.A. Heat Pumps. Belgorod, 2010. 143 p. (In Russian)
12. Anikina I.D., Sergeyev V.V., Amosov N.T. The Potential for Secondary Sources of Low-Grade Heat from TPS for Heat Pump Installations. In: *Proc. All-Russ. Sci. Conf. 'Science Week at the Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University'*, Saint-Petersburg, 2016. Pp. 3–5. (In Russian)
13. Kaysyn S., Shvets A., Khalaim N. Renewable Energy Sources. Kishinev: “Bons Offices”, 2015. 188 p. (In Russian)

14. Amerkhanov R.A., Kirichenko A.S., Uskov A.Ye., Sobol' A.N. Heat Pump Installations. Moscow: Innovatsionnoye mashinostroyeniye, 2022. 258 p. (In Russian)
15. Terry N., Galvin R. How do Heat Demand and Energy Consumption Change when Households Transition from Gas Boilers to Heat Pumps in the UK. *Energy & Buildings*. 2023; 292: 113183. DOI: 10.1016/j.enbuild.2023.113183
16. Preliminary cost calculation of gasification. Available: www.ugaz.ru/ks/kalkulyator/ (accessed 24 October 2023). (In Russian)
17. Tariffs - Gazprom Mezhhregiongaz Perm. Available: www.permrg.ru/abonents/ptl/ (accessed 24 October 2023). (In Russian)
18. Tariffs – PAO Permenergosbyt. Available: <https://permenergosbyt.ru/populations/tarify-dlya-naseleniya-i-priravneniyh-k-nemu-kategoriy-2023/> (accessed 24 October 2023). (In Russian)

Сведения об авторах

Ивашкин Владимир Сергеевич, аспирант, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, vladimirivashkin@ya.ru

Бурков Александр Иванович, канд. техн. наук, доцент, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, ale-burkov1@ya.ru

Authors Details

Vladimir S. Ivashkin, Research Assistant, Perm National Research Polytechnic University, 29, Komsomol'skii Ave., 614990, Perm, Russia, vladimirivashkin@ya.ru

Aleksandr I. Burkov, PhD, A/Professor, Perm National Research Polytechnic University, 29, Komsomol'skii Ave., 614990, Perm, Russia, ale-burkov1@ya.ru

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors contributions

The authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 15.03.2025
Одобрена после рецензирования 02.04.2025
Принята к публикации 27.05.2025

Submitted for publication 15.03.2025
Approved after review 02.04.2025
Accepted for publication 27.05.2025