

Научная статья / Original research article
УДК 696.48-67
DOI: <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-2-64-76>
EDN: <https://elibrary.ru/ytftyut>

2.1.3 Теплоснабжение, вентиляция,
кондиционирование воздуха, газоснабжение
и освещение (технические науки)



Оценка внедрения энергосберегающих мероприятий для системы горячего водоснабжения аэропорта г. Владивостока

И. А. Журмилова ✉, Е. В. Тарасова, Е. А. Зырянов
Дальневосточный федеральный университет, п. Аякс, 10, о. Русский, Владивосток,
690090, Российская Федерация

✉ zhurmilova.ia@dvvfu.ru

Аннотация. Внедрение экономически обоснованных энергосберегающих мероприятий является приоритетной задачей для любых крупных предприятий. Система горячего водоснабжения, как одна из основных систем, потребляющих теплоту в зданиях аэропортов, имеет большой потенциал для сокращения энергопотребления. Основным источником теплоты системы горячего водоснабжения здания аэропорта г. Владивостока являются электрические котлы, для сокращения потребления энергии рассмотрено применение солнечных коллекторов для нагрева воды и установка утилизаторов теплоты выбросов вентиляционного воздуха. Для оценки внедрения энергосберегающих мероприятий в систему горячего водоснабжения здания аэропорта г. Владивостока были проведены теоретические расчеты расхода воды и теплоты на нужды ГВС, определены фактические значения этих величин по данным тепловычислителя. Фактический среднесуточный расход горячей воды по показаниям тепловычислителя за 4 месяца и среднем пассажиропотоке 258 чел./ч составляет 6.68 м³/сут, теоретический расход при этом же пассажиропотоке составляет 6.83 м³/сут. Для проектного значения пассажиропотока 1 360 чел./ч среднесуточный расход воды равен 13.92 м³/сут. Рассчитаны основные показатели внедрения энергосберегающих мероприятий при проектном значении пассажиропотока. Обеспечение нужд ГВС с использованием утилизаторов теплоты выбросов вентиляционного воздуха имеет простой срок окупаемости 6.81 лет; солнечная установка горячего водоснабжения из 86 солнечных коллекторов – 11.2 лет.

Ключевые слова: энергосбережение, горячее водоснабжение, утилизация теплоты воздуха, тепловые насосы, солнечные коллекторы, солнечное теплоснабжение, возобновляемые источники энергии

Для цитирования: Журмилова И. А., Тарасова Е. В., Зырянов Е. А. Оценка внедрения энергосберегающих мероприятий для системы горячего водоснабжения аэропорта г. Владивостока. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2025;5(2):64–76. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-2-64-76> EDN: YTFYUT

Evaluation of energy saving measures implementation for the hot water supply system in Vladivostok airport

Irina A. Zhurmilova ✉, Elena V. Tarasova, Evgeny A. Zyryanov
Far Eastern Federal University, 10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, 690090, Russian Federation

✉ zhurmilova.ia@dvvfu.ru

Abstract. Implementing economically viable energy-saving measures is a priority for any large enterprises. Hot water supply system as one of the major heat consumers in airports offer significant potential for

energy consumption reduction. Electric boilers are the primary heat source for the hot water system of the Vladivostok airport. To reduce energy consumption, the application of solar collectors for water heating and the installation of exhaust air heat recovery systems were considered. To evaluate the effectiveness of these energy-saving measures for the airport's hot water system, theoretical calculations of water and heat consumption for domestic hot water were performed, and these were compared with actual values obtained from heat meter data. Based on these data, the actual average daily hot water consumption over 4 months was 6.68 m³/day, with an average passenger flow of 258 passengers per hour. The theoretical consumption for the same passenger flow was 6.83 m³/day. At a design passengers flow of 1.360 people per hour, the average daily water consumption was calculated to be 13.92 m³/day. The study calculated the key indicators of implementing the energy-saving measures at the design value of passenger flow. Supplying domestic hot water using exhaust air heat recovery has a simple payback period of 6.81 years; a payback period of solar hot water system comprising 86 solar collectors is 11.2 years.

Keywords: energy saving, hot water supply, air heat recovery, heat pumps, solar collectors, solar thermal heating, renewable energy sources

For citation: Zhurmilova I. A., Tarasova E. V., Zyryanov E. A. Evaluation of energy saving measures implementation for the hot water supply system in Vladivostok airport. *Architecture, Construction, Transport*. 2025;5(2):64–76. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-2-64-76>



1. Введение / Introduction

Для системы горячего водоснабжения (далее ГВС) зданий аэровокзалов, имеющих круглосуточный режим работы, актуально внедрение энергосберегающих мероприятий, например, применение возобновляемых источников энергии или утилизация тепловых выбросов. Расположение зданий аэровокзалов на открытой местности благоприятно сказывается на применении солнечных систем горячего водоснабжения. В России накоплен положительный опыт эксплуатации систем теплоснабжения на основе солнечной энергии [1, 2]. Однако применение солнечных установок для потребителя становится объективно обоснованным только при расчете экономических параметров [3, 4]. Использование теплоты вытяжного воздуха является одним из распространенных решений, направленных на сокращение потребления теплоты зданий [5–7]. Применение теплоутилизационных установок позволяет полезно использовать более 40 % теплоты вытяжного воздуха, а значит, снизить энергопотребление в среднем на 20–25 % при сравнительно небольших дополнительных капитальных затратах [8].

Такую систему возможно использовать совместно с тепловым насосом, позволяющим повысить температурный потенциал получаемой теплоты [9, 10], и нагревать как теплоноситель в системе отопления, так и горячую воду [11, 12].

Оценка внедрения энергосберегающих мероприятий для системы ГВС проведена на примере аэропорта г. Владивостока. Владивосток находится на широте 43°, что позволяет получить максимум солнечной энергии среди прочих районов России [13]. Основным критерием выбора оптимального энергосберегающего мероприятия является его экономическая эффективность, дополнительным – снижение нагрузки на окружающую среду.

В здании аэропорта имеются следующие группы водопотребителей:

1. Пассажиры. Для расчетов принимается количество пассажиров от 242 до 1 360 чел./ч. Наименьшее значение пассажиропотока (242 чел./ч) принято по данным за январь 2024 г., максимальное значение (1 360 чел./ч) – проектное для данного аэропорта. Число санитарно-технических приборов с подключением горячей воды составляет 176 шт. Расчетное время водопотребления воды – 24 ч в сутки.

2. Работники офисной части здания (320 человек). Число санитарно-технических приборов с подключением горячей воды составляет 24 шт. Расчетное время водопотребления воды – 9 ч в сутки.
 3. Места общественного питания, кафе. Количество условных блюд – 10 % от пассажиропотока. Число санитарно-технических приборов с подключением горячей воды составляет 20 шт. Расчетное время водопотребления воды – 24 ч в сутки.
 4. Гостиница (20 человек). Число санитарно-технических приборов с подключением горячей воды составляет 12 шт. Расчетное время водопотребления воды – 24 ч в сутки.
 5. Магазины (19 работающих в смену). Число санитарно-технических приборов с подключением горячей воды составляет 19 шт. Расчетное время водопотребления воды – 12 ч в сутки.
- Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:
- проанализировать расчетные и фактические расходы воды на горячее водоснабжение;
 - произвести укрупненный расчет технико-экономического обоснования утилизации теплоты вытяжного вентиляционного воздуха и применения солнечных коллекторов для системы ГВС здания аэровокзала;
 - определить сокращение выбросов CO₂ при использовании теплоты вытяжного вентиляционного воздуха и применения солнечных коллекторов для ГВС здания аэровокзала.

2. Материалы и методы / Materials and methods

Для определения норм расходов воды была использована методика в соответствии с СП 478.1325800.2019¹ и СП 30.13330.2020². Для сравнения теоретических значений с фактическими по расходу воды и теплоты на ГВС были использованы данные тепловычислителя Карат 307 (производитель – ООО НПП «Уралтехнология», Российская Федерация), установленного в тепловом пункте аэропорта г. Владивостока. Архив включает данные почасовых параметров теплоснабжения за декабрь 2023 г., январь 2024 г. и суточных параметров в период с января по апрель 2024 г., данные за другие периоды отсутствуют.

3. Результаты и обсуждение / Results and discussion

Результаты расчетов проектных расходов воды на нужды горячего водоснабжения для каждой группы водопотребителей и для всего здания аэропорта с учетом фактических данных пассажиропотока 242 чел./ч и далее при увеличении его с примерным шагом 100 чел./ч до проектного значения 1 360 чел./ч представлены на рис. 1.

Увеличение пассажиропотока в два раза приводит к увеличению максимального часового расхода горячей воды и расхода тепла на приготовление горячей воды в течение часа максимального водопотребления на 15 %, среднечасового расхода горячей воды и расхода тепла на приготовление горячей воды в течение среднего часа водопотребления на 22 %. При увеличении пассажиропотока в шесть раз первые показатели увеличиваются на 38 %, а вторые на 51 %.

Индивидуальный тепловой пункт аэропорта оснащен тепловычислителем Карат 307, который позволил получить часть данных по фактическому расходу горячей воды. Архив включает данные почасовых параметров теплоснабжения за декабрь 2023 г. (рис. 2), январь 2024 г. (рис. 3) и суточных параметров в период с января по апрель 2024 г.

¹ СП 478.1325800.2019. Здания и комплексы аэровокзальные. Правила проектирования. URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/upload/iblock/049/SP-478.pdf> (дата обращения: 15.02.2025).

² СП 30.13330.2020. Внутренний водопровод и канализация зданий: СНиП 2.04.01-85*. URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/upload/iblock/f41/SP-30.pdf> (дата обращения: 15.02.2025).

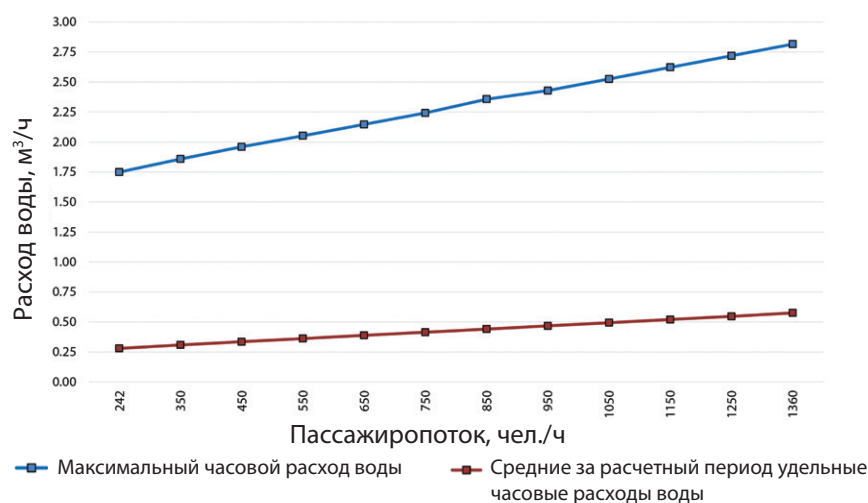


Рис. 1. Теоретические расходы горячей воды здания аэропорта с учетом изменяемости пассажиропотока (график составлен авторами)
Fig. 1. Theoretical hot water demand for the airport terminal, considering variable passenger flow (graph created by the authors)

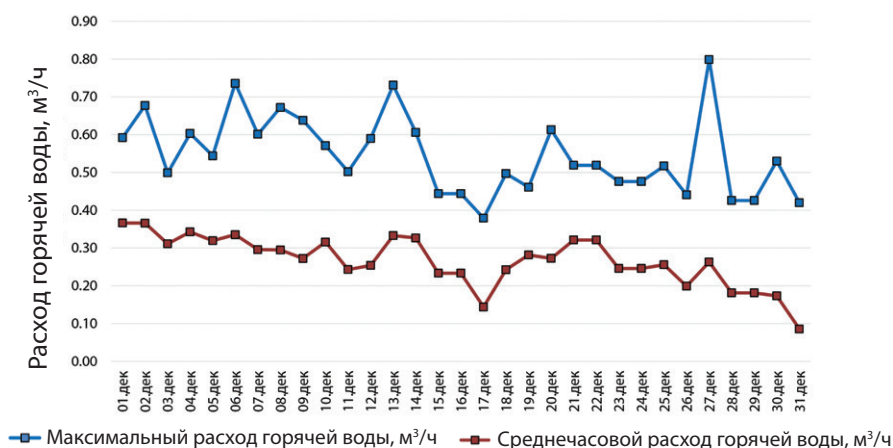


Рис. 2. Фактические расходы горячей воды за декабрь 2023 г. (график составлен авторами)
Fig. 2. Actual hot water consumption for December 2023 (graph created by the authors)

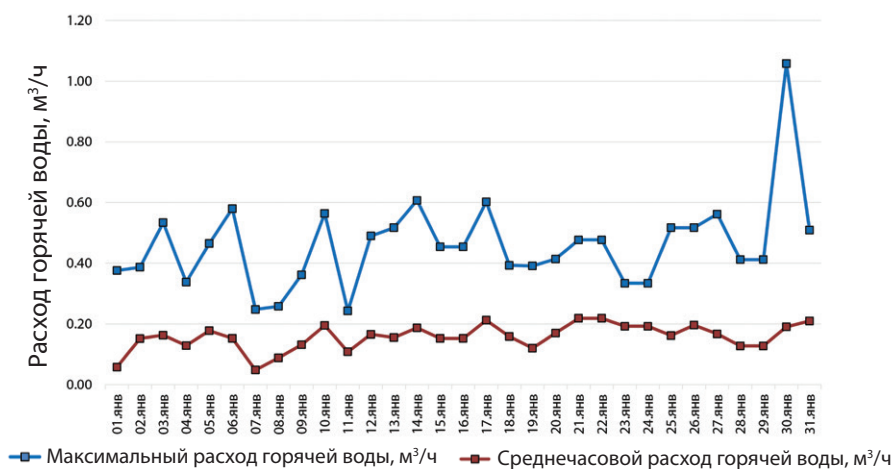


Рис. 3. Фактические расходы горячей воды за январь 2024 г. (график составлен авторами)
Fig. 3. Actual hot water consumption for January 2024 (graph created by the authors)

Значения теоретических среднесуточных и среднечасовых расходов горячей воды и расходов теплоты по фактическим данным пассажиропотока в период с декабря 2023 г. по март 2024 г. представлены в таблице 1.

Среднесуточный расход воды по показаниям тепловычислителя за 4 месяца и среднем пассажиропотоке 258 чел./ч составляет $6.68 \text{ м}^3/\text{сут}$, теоретический расход при этом же пассажиропотоке составляет $6.83 \text{ м}^3/\text{сут}$. Для проектного значения пассажиропотока 1 360 чел./ч среднесуточный расход воды равен $13.92 \text{ м}^3/\text{сут}$. При расчете технико-экономического обоснования внедрения энергосберегающих мероприятий для системы горячего водоснабжения здания аэровокзала решено использовать расчетные расходы воды и теплоты для пассажиропотока в 1 360 чел./ч, так как видна тенденция увеличения пассажиропотока.

Максимальный часовой расход воды по показаниям тепловычислителя за 4 месяца и среднем пассажиропотоке 258 чел./ч равен $1.06 \text{ м}^3/\text{ч}$, теоретический расход при этом же пассажиропотоке составляет $1.75 \text{ м}^3/\text{ч}$. Для проектного значения пассажиропотока 1 360 чел./ч максимальный часовой расход воды равен $2.82 \text{ м}^3/\text{ч}$. Значительное расхождение между показаниями расхода тепловычислителя и теоретическими вычислениями при одинаковом пассажиропотоке говорит о более равномерном потреблении горячей воды в аэропорту г. Владивостока.

Технико-экономическое обоснование внедрения энергосберегающих мероприятий для системы горячего водоснабжения здания аэровокзала произведено по укрупненным показателям согласно [14–16].

Рассмотрено два варианта энергосберегающих мероприятий: использование теплоты вытяжного воздуха; применение солнечных коллекторов.

В качестве низкопотенциального источника теплоты для теплового насоса предложено использовать теплоту вытяжного воздуха из механических систем вентиляции. По результатам натурального обследования систем вентиляции выбрана вытяжная механическая система с проектным расходом воздуха $20\,205 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Для утилизации теплоты вытяжного воздуха необходимо установить фреоновые теплообменники в вытяжных вентиляционных установках, которые будут являться испарителями для теплового насоса. Тепловой насос, установленный в венткамере, нагревает рабочую жидкость до 70°C , она подается по трубопроводам в тепловой узел и через пластинчатый теплообменник греет воду для нужд горячего водоснабжения. Поскольку в вытяжных вентиляционных установках появляется дополнительный теплообменник, необходимо заменить вентиляторы на более мощные. Также система оснащается системой автоматики, насосами (контур теплового насоса, контур баков аккумуляторов, контур пластинчатого теплообменника), баками-аккумуляторами теплоносителя (таблица 2).

Таблица 1. Фактические по тепловычислителю и теоретические данные расходов горячей воды и теплоты
Table 1. Actual (metered) and theoretical data for hot water and heat consumption

Месяц	Расход горячей воды, $\text{м}^3/\text{сут}$				Расход теплоты, кВт	
	фактический средне- суточный	теоретический средне- суточный	фактический средне- часовой	теоретический средне- часовой	по нормируемой температуре горячей воды при фактическом расходе	теорети- ческий
Декабрь 2023 г.	6.39	6.8	0.27	0.28	25.04	26.61
Январь 2024 г.	3.68	6.73	0.16	0.28	14.89	26.33
Февраль 2024 г.	6.29	6.93	0.28	0.29	25.87	27.13
Март 2024 г.	10.35	6.87	0.43	0.29	40.54	26.88

Таблица 2. Основное оборудование системы утилизации теплоты вытяжного воздуха для нужд ГВС
Table 2. Primary equipment in the exhaust air heat recovery system for domestic hot water heating

Наименование	Количество	Стоимость за 1 ед., руб.	Общая сумма, руб.
Компрессорно-конденсатный блок и фреоновый охладитель	1	3 200 000	3 200 000
Вентилятор	1	76 000	76 000
Вспомогательное оборудование	1	150 000	150 000
Насос RW 32-120S 220, DN 32	2	35 500	71 000
Труба водогазопроводная ³ , м	438	300	131 376
Насос RMV 1-6F, DN 25, PN 25	2	81 986	163 972
Расширительный бак на 600 л для отопления STOUT	1	80 000	80 000
ПСК VT.1831.N.08	1	7 745	7 745
Насос для контура ТН, RWS 40-120FT, DN 40, PN10	2	72 000	144 000
Буферная емкость – теплоаккумулятор S-Tank ET 3000	3	300 000	900 000
Общая стоимость оборудования в ценах 2024 г., руб.			4 924 093

Расчет установки солнечного горячего водоснабжения выполняется по часовым суммам прямой и рассеянной солнечной радиации, температуре наружного воздуха в соответствии с ВСН 52-86⁴. Величина интенсивности солнечной радиации принята по научно-прикладному справочнику по климату СССР⁵. Ближайшая станция к месту расположения здания аэропорта – Приморский край, станция Сад-Город. Данные по температуре наружного воздуха приняты по СП 131.13330.2020⁶. Для расчета приняты данные по г. Владивостоку – ближайшему населенному пункту относительно г. Артема, где располагается здание аэропорта.

Установки солнечного горячего водоснабжения должны быть взаимосвязаны с дублирующими тепловыми источниками (котельной, ТЭЦ, электродкотлом и т. п.), используемыми в качестве догревателя воды, предварительно нагретой установкой солнечного горячего водоснабжения. В здании аэропорта предусмотрено три электрических котла производительностью по 30 кВт каждый.

Расчетный период работы системы солнечного горячего водоснабжения – с 8:00 до 17:00, соответственно, расход воды для нагрева солнечными коллекторами учитывается для данного временного интервала, в остальное время нагрев воды для нужд ГВС осуществляется за счет традиционного источника энергии.

³ ГОСТ 3262-75. Трубы стальные водогазопроводные. Технические условия = Water-supply and gas-supply steel pipes. Specifications. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200001411> (дата обращения: 15.02.2025).

⁴ ВСН 52-86. Установки солнечного горячего водоснабжения. Нормы проектирования. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901708515> (дата обращения: 15.02.2025).

⁵ Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1–6. Приморский край. URL: <https://www.vo-da.ru/book/klimat-26> (дата обращения: 15.02.2025).

⁶ СП 131.13330.2020. Строительная климатология = Building climatology. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573659358> (дата обращения: 15.02.2025).

Выполнен расчет площади солнцепоглощающей поверхности установок с дублиром для каждого месяца года при разных условиях облачности. Определены площади солнцепоглощающей поверхности и необходимое количество плоских солнечных коллекторов марки SILA JFC-2/2 (производитель – ООО «Технолайн», Российская Федерация) для месяцев с наибольшей суммой солнечной радиации за период работы. При ясном небе минимальная площадь солнцепоглощающей поверхности в апреле – 130 м², что соответствует 71 солнечному коллектору (далее в расчетах увеличим значение до четного числа – 72 шт., что обосновано удобством монтажа и обеспечением гидравлической стабильности в работе солнечной установки). При средних условиях облачности минимальная площадь солнцепоглощающей поверхности в марте – 179 м², что соответствует 98 солнечным коллекторам. Также рассчитано расстояние между рядами солнечных коллекторов для самого неблагоприятного месяца – 4.6 м в декабре.

При ухудшении погодных условий для покрытия среднечасовой потребности в горячей воде площадь солнцепоглощающей поверхности должна быть увеличена в 1.4 раза, или на 27 %.

Установка горячего водоснабжения из 72 солнечных коллекторов (площадь солнцепоглощающей поверхности 131 м²) при ясном небе полностью обеспечивает нагрев воды при среднечасовом расходе в основном с 9:00 до 14:30 (± 30 мин) для каждого месяца, в остальное время требуется догрев воды от электрокотлов (рис. 4).

Установка горячего водоснабжения из 98 солнечных коллекторов (площадь солнцепоглощающей поверхности 179 м²) при средних условиях облачности полностью обеспечивает нагрев воды при среднечасовом расходе в основном с 10:00 до 14:00 в течение всех месяцев кроме летних ввиду большого количества пасмурных дней (рис. 5).

Так как солнечная установка горячего водоснабжения сильно зависит от погодных условий и данный фактор сложно достоверно учесть, то для дальнейшей оценки экономической обоснованности применения такой установки предлагается усреднить значение площади солнцепоглощающей поверхности до 157 м² (86 солнечных коллекторов марки SILA JFC-2/2). Рассчитана вместимость бака-аккумулятора – 7.8 м³, ориентировочно к установке принято 10 баков-аккумуляторов по 800 л марки SILA SST-800-D (производитель – ООО «Технолайн», Российская Федерация). Стоимость одного солнечного коллектора SILA JFC-2/2 – 36 406 руб. (с учетом стоимости доставки). Стоимость одного бака-аккумулятора SILA SST-800-D – 236 544 руб. Цены актуальны для 2024 г.

Показатели доходности инвестиций для выбранных энергосберегающих мероприятий представлены в таблице 3. При расчете эксплуатационных затрат стоимость электроэнергии принималась согласно тарифам на 2024 г.: 1 кВт/ч – 3.7 руб. без НДС (4.44 руб. с НДС).

Вопрос о сокращении выбросов парниковых газов на всех стадиях жизненного цикла зданий имеет международное значение и рассматривается исследователями разных стран [17, 18]. Применение энергосберегающих мероприятий является частью мер по сокращению эмиссии парниковых газов. В ходе исследования был выполнен расчет сокращения выбросов углекислого газа для энергосберегающих мероприятий, в соответствии с приказом Минприроды России от 27 мая 2022 г. № 371⁷.

Коэффициент окисления твердого топлива принимается по умолчанию равным 1.0 при отсутствии фактических данных о потерях тепла вследствие механической неполноты сгорания твердого топлива и о содержании углерода в твердых продуктах сгорания топлива (шлаке и золе).

⁷ Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 27 мая 2022 г. № 371 «Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов». URL: <https://docs.cntd.ru/document/350962750> (дата обращения: 14.02.2025).

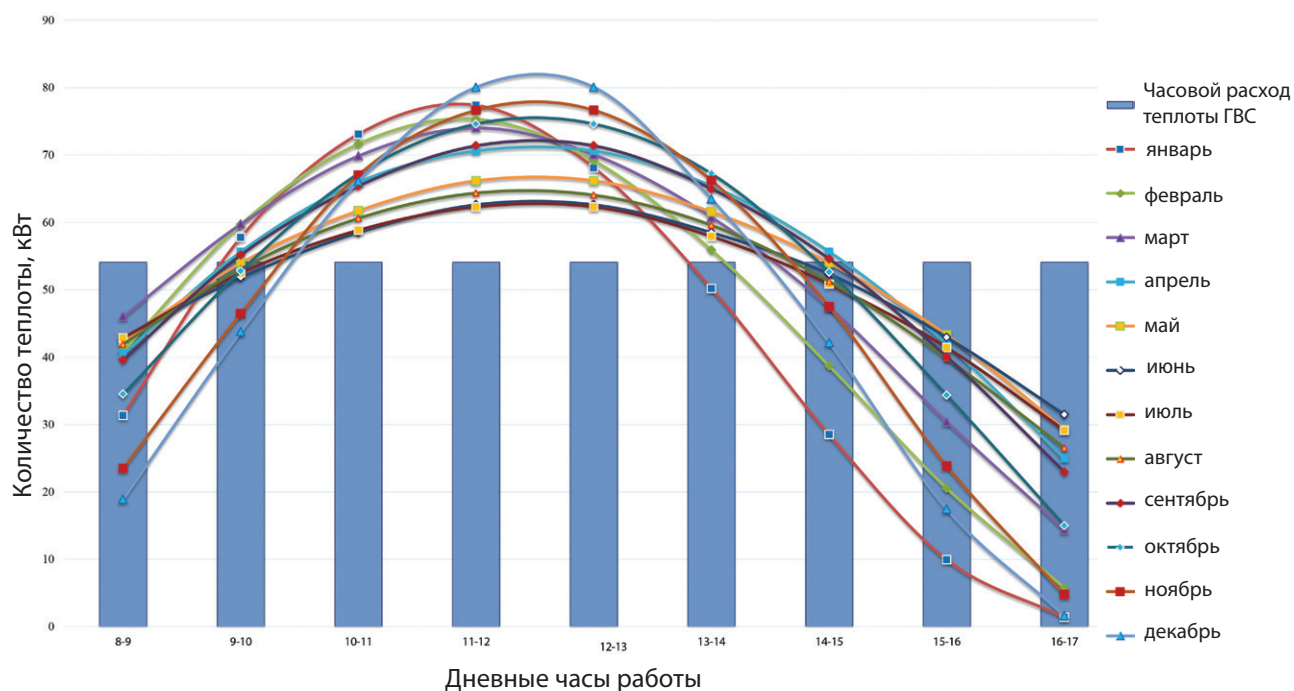


Рис. 4. График почасовой производительности 72 солнечных коллекторов с 8:00 до 17:00 часов при ясном небе (график составлен авторами)

Fig. 4. Hourly performance of 72 solar collectors from 8:00 AM to 5:00 PM under clear sky conditions (graph created by the authors)

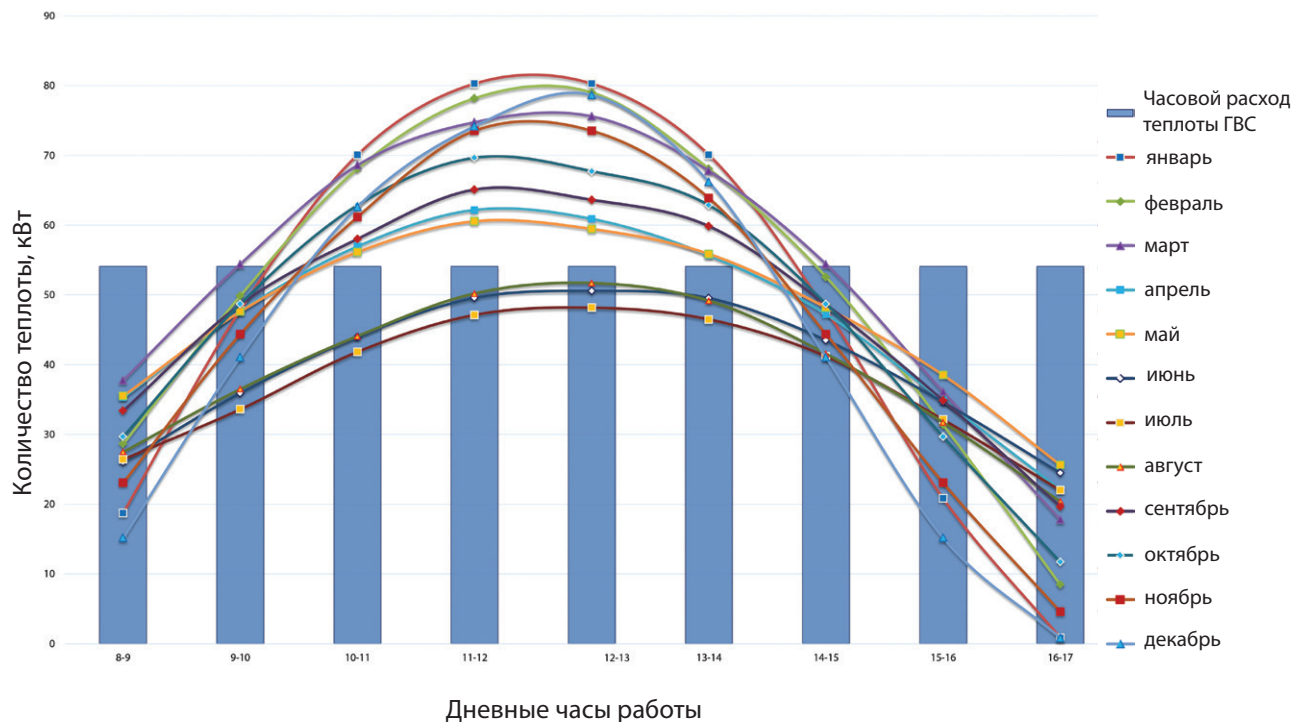


Рис. 5. График почасовой производительности 98 солнечных коллекторов с 8:00 до 17:00 часов при средних условиях облачности (график составлен авторами)

Fig. 5. Hourly performance of 98 solar collectors from 8:00 AM to 5:00 PM under average cloud cover (graph created by the authors)

Таблица 3. Технико-экономические показатели рассматриваемых энергосберегающих мероприятий
Table 3. Technical and economic indicators of the considered energy-saving measures

Наименование показателя	Система утилизации теплоты вытяжного воздуха для нужд ГВС	Солнечная водонагре- вательная установка для нужд ГВС
Капиталовложения, тыс. руб.	6 187	8 332
Гарантийный срок службы основного оборудования, лет	15	
Амортизационные отчисления и затраты на ремонт и обслуживание технических средств, тыс. руб.	328.3	555.5
Затраты на ремонт и обслуживание технических средств, тыс. руб.	147.7	208.3
Затраты на энергоресурсы, тыс. руб.	718.4	1 381.7
Ежегодные эксплуатационные затраты, тыс. руб.	1 194.4	2 145.4
Расчет показателей доходности инвестиций		
Расход тепла на приготовление горячей воды в течение среднего часа водопотребления, кВт	54.08	
Количество тепловой энергии, потребляемой системой горячего водоснабжения за год, кВт·ч/год	473 741	
Затраты на энергоресурсы системой нагрева ГВС электрическими бойлерами, тыс. руб.	2 124.8	
Ежегодный промежуточный доход за счет экономии энергоресурсов, тыс. руб.	909.1	743.11
Простой срок окупаемости, лет	6.81	11.2
Срок окупаемости с учетом дисконтирования, лет	9.83	28.4
Срок окупаемости в условиях наращивания, лет	5.43	8
Норма дисконта (реальная инфляция)	0.08	
Полный дисконтированный доход за срок службы системы, тыс. руб.	7 940.5	6 491.1
Чистый дисконтированный доход за срок службы системы, тыс. руб.	1 753.4	–1 840.9
Полный наращенный доход, тыс. руб.	26 363.3	21 551.2
Индекс доходности с учетом дисконтирования	4.26	0.78
Индекс доходности с учетом наращивания	1.28	2.59

Известно, что источником электрической энергии в г. Артем является Артемовская ТЭЦ. В качестве топлива на ТЭЦ используют бурый уголь.

На официальном сайте АО «Дальневосточная генерирующая компания» размещена информация о том, что удельный расход условного топлива на электроэнергию составляет 442.5 г/кВт·ч.

При эксплуатации системы ГВС с использованием теплового насоса в сравнении с использованием электрических бойлеров для подогрева воды ГВС для расчета выбросов углекислого газа учитывались затраты электроэнергии на работу оборудования: теплового насоса, вентилятора с увеличенной мощностью, насосов циркуляции ГВС. Максимальный расход теплоты на подогрев ГВС составляет 264.6 кВт. Среднечасовая нагрузка на ГВС – 54.08 кВт. Коэффициент теплопроизводительности теплового насоса принят согласно подобранному оборудованию – 3.2. Годовое потребление электроэнергии для работы системы с нагревом тепловым насосом 137 502 кВт, что потребует сжигания 102.07 т бурого угля.

При эксплуатации комбинированной системы горячего водоснабжения, состоящей из солнечных коллекторов и электрических котлов, а также для системы с применением только электрических котлов для подогрева воды на нужды ГВС для расчета выбросов углекислого газа учитывались затраты электроэнергии на работу электрических котлов для двух видов систем: при полной загрузке и при совместной работе с солнечными коллекторами. Максимальный расход теплоты на подогрев

Таблица 4. Результаты расчета выбросов CO₂ от сжигаемого топлива
Table 4. Results of the calculated CO₂ emissions from fuel combustion

Наименование показателя	Вариант с электрическими котлами	Вариант с тепловыми насосами	Вариант с солнечными коллекторами и электрическими котлами
Наименование сжигаемого топлива	Бурый уголь	Бурый уголь	Бурый уголь
Расход топлива j в натуральном выражении за период u , т или тыс. м ³	351.7	102.1	227.2
Низшая теплота сгорания топлива j за период u , МДж/кг, МДж/м ³	18.6	18.6	18.6
Расход топлива j в энергетическом эквиваленте за период u , ТДж	6.5	1.9	4.2
Коэффициенты выбросов:			
т CO ₂ /т.у.т	2.96	2.96	2.96
т CO ₂ /ТДж	101	101	101
Выбросы CO ₂ , т	660.6	191.7	424.2

ГВС составляет 264.6 кВт. Среднечасовая нагрузка на ГВС – 54.08 кВт. Годовой объем электроэнергии, необходимый для работы комбинированной системы, включающей солнечные коллекторы и электрические котлы, составляет 308 077 кВт, что требует сжигания 227.2 т бурого угля. Для работы электрических котлов на нагрев ГВС в течение того же периода потребуется 473 770 кВт электрической энергии (351.7 т бурого угля соответственно) (таблица 4).

4. Заключение / Conclusions

Проанализированы расчетные и фактические расходы воды на горячее водоснабжение аэропорта г. Владивостока. Среднесуточные и среднечасовые расходы воды на ГВС при осреднении данных за 4 месяца имеют незначительные отклонения (до 5 %) от теоретических значений, что подтверждает высокую точность нормативной методики расчета. Однако при осреднении данных за отдельный месяц имеются различия с расчетными значениями расходов величиной до 50 % как в большую, так и в меньшую сторону, что может свидетельствовать о неравномерном потреблении воды пассажирами в разные месяцы. Максимальный часовой расход воды по показаниям тепловычислителя за 4 месяца и среднем пассажиропотоке 258 чел./ч равен 1.06 м³/ч, расчетный расход при этом же пассажиропотоке составляет 1.75 м³/ч, что больше на 39 %. Значительное расхождение между показаниями расхода тепловычислителя и теоретическими вычислениями при одинаковом пассажиропотоке говорит о более равномерном потреблении горячей воды в аэропорту г. Владивостока. При сопоставимом соотношении различных водопотребителей ГВС полученные данные позволяют делать оценку потребления горячей воды на аналогичных объектах строительства.

При расчете технико-экономического обоснования внедрения энергосберегающих мероприятий для системы горячего водоснабжения здания аэровокзала использованы расчетный среднесуточный расход воды 13.92 м³/сут. и расход тепла на приготовление горячей воды в течение среднего часа водопотребления для пассажиропотока 1 360 чел./ч, так как видна тенденция увеличения пассажиропотока.

Обеспечение нужд ГВС с использованием теплового насоса имеет простой срок окупаемости 6.81 лет. Чистый дисконтированный доход за срок службы системы в предположении непрерывного дисконтирования – 7 940.5 тыс. руб., полный наращенный доход – 26 363.3 тыс. руб., индекс доходности с учетом дисконтирования – 4.26. Индекс доходности с учетом наращивания – 1.28.

Солнечная установка горячего водоснабжения из 86 солнечных коллекторов имеет простой срок окупаемости 11.2 лет, чистый дисконтированный доход за срок службы системы в предположе-

нии непрерывного дисконтирования – 6 491.1 тыс. руб., полный наращенный доход – 21 551.2 тыс. руб., индекс доходности с учетом дисконтирования – 0.78. Индекс доходности с учетом наращивания – 2.59. Данное энергосберегающее мероприятие имеет более низкие индексы доходности в сравнении с утилизацией теплоты вентиляционных выбросов, кроме того, чистый дисконтированный доход меньше нуля, соответственно, вложение инвестиций экономически неэффективно.

Применительно к аналогичным объектам применение теплового насоса при утилизации теплоты вытяжного воздуха для нужд ГВС в сравнении с системой солнечного теплоснабжения остается более выгодной технологией даже при равных капиталовложениях, так как системами вентиляции оснащены все здания аэровокзалов, а значит, они обеспечены стабильным источником энергии, который не зависит от погодных условий.

Сокращение выбросов CO₂ за год для ГВС с использованием теплового насоса при проектной нагрузке составляет 468.9 т, или углеродных единиц. Сокращение выбросов CO₂ на 1 кВт требуемой мощности подогревателей ГВС составляет 1.77 т/год. На каждые 100 кВт выработанной теплоты сокращение выбросов CO₂ – 99 кг.

Для системы ГВС с солнечными коллекторами сокращение выбросов CO₂ за год при проектной нагрузке составляет 232.3 т, или углеродных единиц. Сокращение выбросов CO₂ на 1 кВт требуемой мощности подогревателей ГВС составляет 0.88 т/год. На каждые 100 кВт выработанной теплоты сокращение выбросов – 49 кг.

В целом применение солнечных коллекторов или тепловых насосов для подогрева ГВС не позволяет полностью избавиться от выбросов CO₂, но приводит к их снижению и может стать эффективным решением, если необходимо локально снизить нагрузку на окружающую среду.



Вклад авторов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Author contributions. All authors contributed equally to preparing the publication.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interest. The authors declare no relevant conflict of interest.

Список литературы

1. Бутузов В. А. Солнечное теплоснабжение в регионах России. *Энергосбережение*. 2014;(6):76–79. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=5914.
2. Бутузов В. А. Солнечное теплоснабжение. Опыт столетнего развития. *Промышленная энергетика*. 2020;(4):52–62. URL: <http://www.promen.energy-journals.ru/index.php/PROMEN/article/view/1391>.
3. Белоглазова Т. Н., Романова Т. Н. Технико-экономическое обоснование установки солнечных коллекторов для индивидуальных домов. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2024;(1):45–57. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-1-45-57>
4. Niekurzak M., Kubińska-Jabcoń E. Analysis of the return on investment in solar collectors on the example of a household: the case of Poland. *Frontiers in Energy Research*. 2021;9:660140. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.660140>
5. Кокорин О. Я. *Энергосбережение в системах отопления, вентиляции, кондиционирования: научное издание*. Москва: АСВ; 2013.
6. Милованов А. Ю. Утилизаторы теплоты вытяжного воздуха как перспективное энергосберегающее мероприятие. *Энергосбережение*. 2015;(5):14–17. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6181.
7. Tetsuya S., Minoru S. *Cooling, heating, hot-water supplying and ventilating device*. Japan. Patent No. 1999270924. 23 March 1998. URL: https://patentscope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=JP268119855&_cid=P21-MBGJUU-11535-1.
8. Самарин О. Д., Бызов Н. И. Возможности повышения класса энергосбережения общественных зданий за счет теплоутилизации в системах вентиляции. *Сантехника, отопление, кондиционирование*.

- 2017;(3):72–75. URL: <https://www.c-o-k.ru/articles/vozmozhnosti-povysheniya-klassa-energoberezheniya-obschestvennyh-zdaniy-za-schet-teploutilizacii-v-sistemah-ventilyacii>.
9. Здитовецкая С. В., Володин В. И. Эффективность теплоутилизационных устройств в системе приточно-вытяжной вентиляции. *Труды БГТУ. № 3. Химия и технология неорганических веществ*. 2010;1(3):210–212. URL: <https://elib.belstu.by/handle/123456789/38202>.
10. Noble M. *Double-flow ventilation system and method for domestic hot water production and compact heating with built-in heat pump*. European patent office. Patent No. EP2306107A1 22 September 2010. URL: <https://patents.google.com/patent/EP2306107A1/en>.
11. Grosch Meyer P. *Water preheating device for low-energy home, uses heat exchanger receiving heat from exhausted ventilation air and additional heat exchanger that is part of building heating system*. Germany. Patent No. 202006005469. 05 April 2006. URL: https://patentscope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=DE105131770&_cid=P11-MBGKBN-86978-1.
12. Трухин Е. К., Харченко М. Ф., Тарасова Е. В. *Способ использования теплоты вытяжного вентиляционного воздуха здания для системы горячего водоснабжения и нужд отопления и система для его реализации*. Российская Федерация. Патент № 2761700C1. 27 апреля 2021. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2761700C1_20211213.
13. Штым А. С., Журмилова И. А., Калинин А. О. Особенности проектирования источника систем горячего водоснабжения на основе солнечной энергии. *Новости теплоснабжения*. 2013;(5). URL: https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=3106.
14. Богуславский А. Д., Симонова А. А., Митин М. Ф. *Экономика теплогазоснабжения и вентиляции*. 3-е изд., перераб. и доп. Москва: Стройиздат; 1988.
15. Симонова А. А. *Экономика систем инженерного оборудования*. Москва: Стройиздат; 1990.
16. Бродач М. М., Стронгин А. С., Харитонов Б. П. Выбор и оптимизация систем холодоснабжения зданий. *АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика*. 2021;(8):46–51. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=7983.
17. Крутилова М. О. Направления совершенствования экономических механизмов минимизации выбросов парниковых газов в течение жизненного цикла здания. *Экономика строительства и природопользования*. 2018;(1):63–71. URL: <https://ce-em.cfuv.ru/wp-content/uploads/2024/02/1-66-2018.pdf>.
18. Alaux N., Marton Chr., Steinmann J., Maierhofer D., Mastrucci A., Petrou D. Whole-life greenhouse gas emission reduction and removal strategies for buildings: Impacts and diffusion potentials across EU Member States. *Journal of environmental management*. 2024;(370):122915. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122915>.

References

1. Butuzov V. A. Solar heat supply in Russian regions. *Energoberezhenie*. 2014;(6):76–79. (In Russ.) URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=5914.
2. Butuzov V. A. Solar thermal supply. Experience of a century of development. *Promyshlennaya energetika*. 2020;(4):52–62. (In Russ.) URL: <http://www.promen.energy-journals.ru/index.php/PROMEN/article/view/1391>.
3. Beloglazova T. N., Romanova T. N. Feasibility study of solar collectors installation for private residence. *Architecture, Construction, Transport*. 2024;(1):45–57. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-1-45-57>
4. Niekurzak M., Kubińska-Jabcoń E. Analysis of the Return on Investment in Solar Collectors on the Example of a Household: The Case of Poland. *Frontiers in Energy Research*. 2021;9:660140. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.660140>
5. Kokorin O. Ya. *Energy saving in heating, ventilation, air-conditioning systems: scientific edition*. Moscow: ASV; 2013. (In Russ.)
6. Milovanov A. Yu. Exhaust air heat utilizers as a promising energy saving measure. *Energoberezhenie*. 2015;(5):14–17. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6181.
7. Tetsuya S., Minoru S. *Cooling, heating, hot-water supplying and ventilating device*. Japan. Patent No. 1999270924. 23 March 1998. URL: https://patentscope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=JP268119855&_cid=P21-MBGJUU-11535-1.
8. Samarin O. D., Byzov N. I. Possibilities of the increase of the energy saving class by heat recovery in ventilating systems. *Plumbing, Heating, Air-conditioning*. 2017;(3):72–75. URL: <https://www.c-o-k.ru/articles/vozmozhnosti-povysheniya-klassa-energoberezheniya-obschestvennyh-zdaniy-za-schet-teploutilizacii-v-sistemah-ventilyacii>.

9. Zditoveckaya S. V., Volodin V. I. Efficiency of heat recovery devices in supply and exhaust ventilation system. *Proceedings of BSTU. № 3. Chemistry and technology of inorganic substances*. 2010;1(3):210–212. URL: <https://elib.belstu.by/handle/123456789/38202>.
10. Noble M. *Double-flow ventilation system and method for domestic hot water production and compact heating with built-in heat pump*. European Patent Office. Patent No. EP2306107A1 22 September 2010. URL: <https://patents.google.com/patent/EP2306107A1/en>.
11. Grosch Meyer P. *Water preheating device for low-energy home, uses heat exchanger receiving heat from exhausted ventilation air and additional heat exchanger that is part of building heating system*. Germany. Patent No. 202006005469. 05 April 2006. URL: <https://patentscope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=DE105131770&cid=P11-MBGKBN-86978-1>.
12. Trukhin E. K., Kharchenko M. F., Tarasova E. V. *Method for using the heat of the exhaust ventilation air of a building for a hot water supply system and heating needs and a system for its implementation*. Russian Federation. Patent No. 2761700C1. 27 April 2021. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2761700C1_20211213.
13. Shtym A. S., Zhurmilova I. A., Kalinin A. O. Peculiarities of solar hot water supply system source design. *Novosti teplosnabzheniya*. 2013;(5). (In Russ.) URL: https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=3106.
14. Boguslavskiy A. D., Simonova A. A., Mitin M. F. *Economics of heat and gas supply and ventilation*. 3rd edition. Moscow: Stroyizdat; 1988. (In Russ.)
15. Simonova A. A. *Economics of engineering equipment systems*. Moscow: Stroyizdat; 1990. (In Russ.)
16. Brodach M. M., Strongin A. S., Haritonov B. P. Selection and optimization of building cold supply systems. *AVOK*. 2021;(8):46–51. (In Russ.) URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=7983.
17. Krutilova M. O. The nexus of life cycle phases on embodied carbon of buildings: an economic review. *Construction economic and environmental management*. 2018;(1):63–71. URL: <https://ce-em.cfuv.ru/wp-content/uploads/2024/02/1-66-2018.pdf>.
18. Alaux N., Marton Chr., Steinmann J., Maierhofer D., Mastrucci A., Petrou D. Whole-life greenhouse gas emission reduction and removal strategies for buildings: Impacts and diffusion potentials across EU Member States. *Journal of environmental management*. 2024;(370):122915. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122915>



Информация об авторах

Журмилова Ирина Александровна, канд. техн. наук, доцент департамента энергетических систем, Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Российская Федерация, zhurmilova.ia@dvfu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5970-418X>

Тарасова Елена Владимировна, канд. техн. наук, доцент департамента энергетических систем, Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Российская Федерация, tarasova.ev@dvfu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0955-536>

Зырянов Евгений Андреевич, аспирант, ассистент департамента энергетических систем, Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Российская Федерация, zyrianov.ea@dvfu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9289-1266>

Information about the authors

Irina A. Zhurmilova, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor in the Department of Energy Systems, Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russian Federation, zhurmilova.ia@dvfu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5970-418X>

Elena V. Tarasova, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor in the Department of Energy Systems, Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russian Federation, tarasova.ev@dvfu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0955-5363>

Evgeny A. Zyryanov, Postgraduate, Assistant in the Department of Energy Systems, Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russian Federation, zyrianov.ea@dvfu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9289-1266>

Получена 14 апреля 2025 г., одобрена 29 мая 2025 г., принята к публикации 10 июня 2025 г.
Received 14 April 2025, Approved 29 May 2025, Accepted for publication 10 June 2025