

ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА  
ENERGY AND ELECTRICAL ENGINEERING

УДК 6221.577:62

DOI: 10.21822/2073-6185-2026-53-2-6-13



Оригинальная статья /Original article

**Исследование энергетических характеристик системы холодоснабжения  
с абсорбционной бромистолитиевой холодильной машиной,  
использующей геотермальное тепло**

**И.А. Зайцев**

Национальный исследовательский университет ИТМО,  
197101, г. Санкт -Петербург, Кронверкский проспект, 49, Россия

**Резюме. Цель.** Целью исследования является определение граничных условий эффективной эксплуатации абсорбционной бромистолитиевой холодильной машины, работающей на геотермальной воде. **Метод.** Исследование основано на методах термодинамического анализа. **Результат.** Предложена математическая модель, описывающая тепло- и массообмен в основных узлах: генераторе, абсорбере, испарителе и конденсаторе. Расчеты выполнены для интервала температур геотермального источника 70–110°C при фиксированных параметрах охлаждающего контура. Установлено, что повышение температуры теплоносителя с 70 до 110°C увеличивает тепловой коэффициент с 0,52 до 0,81. Выявлена критическая зона ниже 75°C, где эффективность резко падает из-за слабой дегазации раствора. Определены оптимальные гидравлические режимы, максимизирующие холодопроизводительность. Показано, что рекуперация тепла в теплообменнике растворов повышает тепловой коэффициент на 40–45%. **Вывод.** Результаты могут быть применены при проектировании автономных систем кондиционирования с геотермальным подводом тепла.

**Ключевые слова:** геотермальная энергия, абсорбционная бромистолитиевая холодильная машина, энергетические характеристики, тепловой коэффициент, термодинамический анализ, низкопотенциальное тепло, холодоснабжение.

**Для цитирования:** И.А.Зайцев. Исследование энергетических характеристик системы холодоснабжения с абсорбционной бромистолитиевой холодильной машиной, использующей геотермальное тепло. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2026;53(2):6-13. DOI:10.21822/2073-6185-2026-53-2-6-13

**Energy Performance study of a Cooling supply system with an Lithium bromide  
absorption chillers using Geothermal heat**

**I.A. Zaitsev**

National Research University ITMO,  
49 Kronverksky Ave., St. Petersburg 197101, Russia

**Abstract. Objective.** The aim of the study is to determine the boundary conditions for the efficient operation of a lithium bromide absorption refrigeration machine operating on geothermal water. **Method.** The study is based on thermodynamic analysis methods. **Result.** A mathematical model based on mass and energy conservation laws for the generator, condenser, evaporator, absorber, and solution heat exchanger is developed. The simulation covers geothermal water inlet temperatures from 70 to 110°C, with constant cooling water and chilled water parameters. The study investigates the impact of the heat source temperature on the generator load, cooling capacity, and the coefficient of performance (COP). The results indicate that raising the driving temperature from 70 to 110°C improves the COP from 0.52 to 0.81. A sharp decline in performance is observed below 75°C due to poor vapor generation conditions. Optimal flow rate ratios between the geothermal fluid and the chilled water are identified to maximize cooling output. Incorporating a solution heat exchanger enhances the COP by 40-45% compared to a basic cycle.

**Conclusion.** The findings provide practical guidance for designing efficient geothermal cooling systems and selecting appropriate operational strategies.

**Keywords:** geothermal energy, absorption lithium-bromide chiller, energy performance, coefficient of performance, thermodynamic analysis, low-potential heat, cooling supply.

**For citation:** I.A. Zaitsev. Energy Performance study of a Cooling supply system with an Lithium bromide absorption chillers using Geothermal heat. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2026;53(2):6-13. (In Russ) DOI:10.21822/2073-6185-2026-53-2-6-13

**Введение.** Современный этап развития энергетики характеризуется переходом к децентрализованным системам и активным вовлечением возобновляемых ресурсов. Геотермальная энергия выделяется среди альтернативных источников стабильностью и независимостью от климатических условий, что делает её привлекательной для круглогодичного использования в системах теплоснабжения и охлаждения [1, 2]. При этом сектор кондиционирования воздуха остается одним из главных потребителей электроэнергии, особенно в южных регионах, где затраты на охлаждение могут достигать половины энергобаланса зданий [1, 3].

В качестве альтернативы парокомпрессионным холодильным машинам рассматриваются абсорбционные установки, работающие на бинарной смеси вода-бромид лития. Их ключевое преимущество – способность использовать тепловые сбросы или возобновляемое тепло с температурой 70 – 120°C для генерации холода, что позволяет кардинально сократить потребление дорогостоящей электроэнергии [4, 5]. Рабочее тело таких машин экологически безопасно и не наносит вреда озоновому слою [6, 7].

Вопросы интеграции геотермальных источников с абсорбционными машинами подробно освещены в зарубежной литературе.

Например, в работах [1, 7] детально проанализирована работа одноступенчатой АБХМ в климатических условиях ОАЭ, где достигаются значения теплового коэффициента до 0,87 при температуре источника 120°C. Исследования [4, 8] подтверждают термодинамические преимущества абсорбционного цикла перед органическим циклом Ренкина при построении комбинированных систем. Обобщающие обзоры [3, 10] представляют современные подходы к централизованному холодоснабжению на базе геотермальных ресурсов. Тем не менее, в существующих публикациях недостаточно внимания уделено режимам работы АБХМ при нестабильных параметрах низкотемпературных геотермальных источников (70–90°C). Также требует уточнения методика согласования расходов теплоносителя и хладоносителя для достижения пиковых значений эффективности [10].

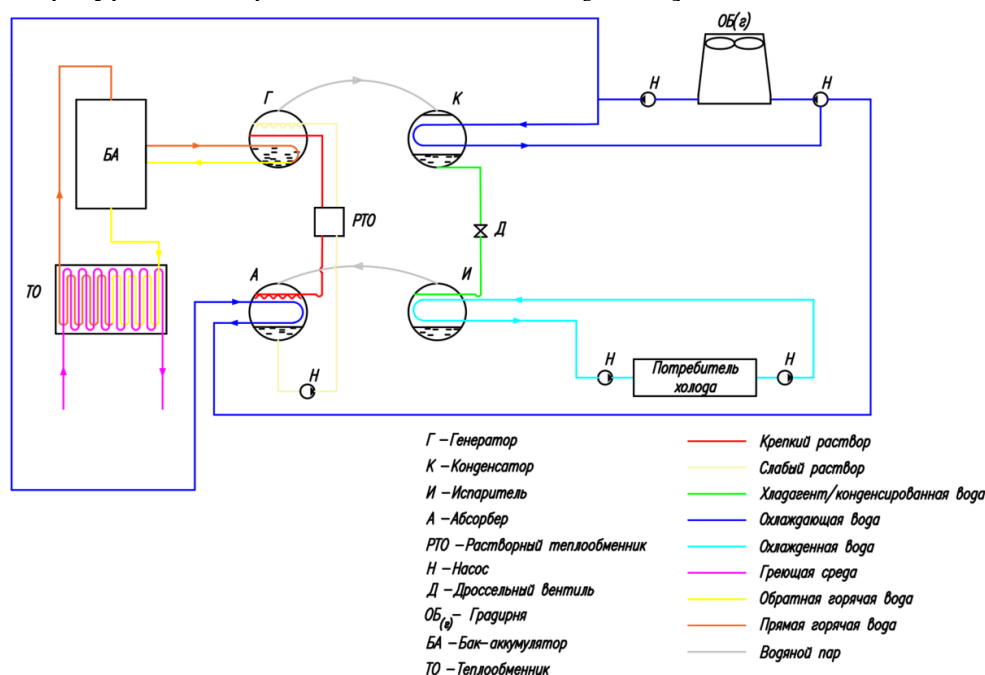
**Постановка задачи.** Цель данной работы – провести термодинамический анализ энергетических характеристик одноступенчатой АБХМ при вариации параметров геотермального источника и определить граничные условия эффективной эксплуатации установки.

**Методы исследования.** Объектом выступает типичная схема абсорбционного бромистолитиевого chillera, функционирующего за счет геотермального тепла.

На рис. 1 представлена принципиальная схема системы холодоснабжения на базе абсорбционной бромистолитиевой холодильной машины, использующей геотермальное тепло. В состав установки входят генератор (Г), конденсатор (К), испаритель (И), абсорбер (А), растворный теплообменник (РТО), циркуляционные насосы и дросселирующие устройства. Принцип действия основан на способности концентрированного раствора  $LiBr$  поглощать пары воды с последующей десорбцией при нагреве.

Математическое описание процессов базируется на фундаментальных уравнениях баланса массы и энергии. При построении модели введены следующие допущения: стационарность режимов; адиабатность внешних поверхностей аппаратов; изоэнтальпийное

дресселирование; равновесное состояние на выходе из конденсатора и испарителя; постоянство температурных напоров в теплообменниках [11, 12].



**Рис. 1 - Принципиальная схема системы холодоснабжения на базе АБХМ с использованием геотермального тепла**

**Fig. 1 - Schematic diagram of a refrigeration system based on an absorption chiller using geothermal heat**

Термофизические свойства смеси вода-бромид лития и водяного пара рассчитывались по апробированным эмпирическим корреляциям [13, 14].

Алгоритм решения системы уравнений реализован на языке Python. Граничными условиями являются:

1. Температура геотермального теплоносителя на входе в генератор: 70–110°C.
2. Температура оборотной воды на входе в конденсатор и абсорбер: +25°C (принята константой).
3. Температура хладоносителя (воды) на выходе из испарителя: 7–12°C.
4. Эффективность растворного теплообменника: 0,7.
5. Минимальные температурные напоры: в генераторе – 5°C, в испарителе – 2°C, в конденсаторе/абсорбере – 3°C.

Данные параметры соответствуют стандартным режимам работы АБХМ в системах кондиционирования [15].

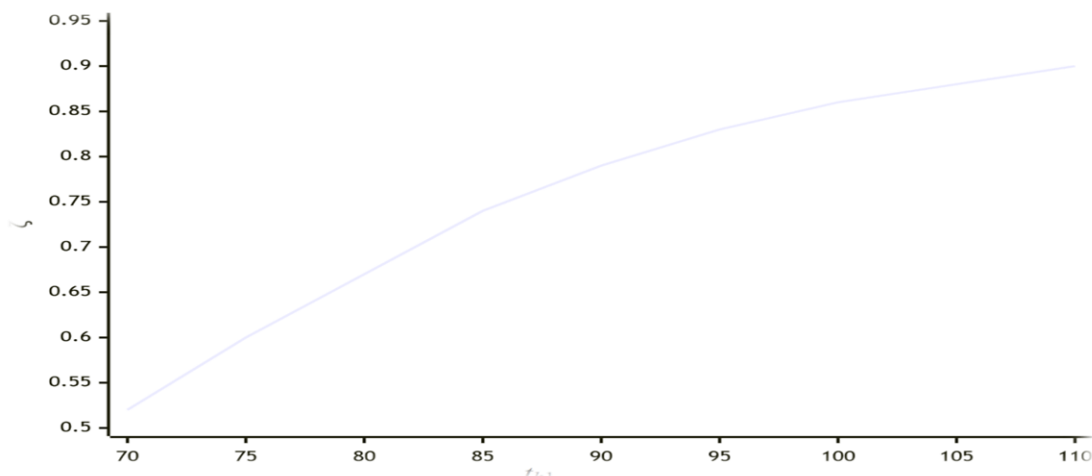
**Обсуждение результатов.** Первоначально оценивалось влияние температуры греющей воды на параметры цикла при фиксированных температурах охлаждающей среды (25°C) и хладоносителя (10°C). Итоги расчетов сведены в табл. 1.

На рис. 2 представлено изменение теплового коэффициента  $\zeta$  в зависимости от температуры подачи горячей воды в генератор АБХМ при использовании геотермального тепла. Анализ данных показывает, что рост температуры источника с 70 до 110°C способствует повышению теплового коэффициента с 0,52 до 0,90. Наиболее значимый прирост  $\zeta$  фиксируется в диапазоне 75–85°C (увеличение с 0,60 до 0,74).

Далее кривая роста выполаживается, что свидетельствует о снижении интенсивности прироста энергетической эффективности системы. Подобная динамика объясняется изменением концентрационного поля цикла. При низких температурах (65–70°C) разность концентраций крепкого и слабого раствора невелика (порядка 6%), что вынуждает увеличивать кратность циркуляции ( $a > 9,5$ ). Это ведет к росту непроизводительных затрат тепла на нагрев балластного раствора.

**Таблица 1. Зависимость характеристик АБХМ от температуры геотермальной воды**  
**Table 1. Dependence of the characteristics of the ABHM on the temperature of geothermal water**

| Параметр<br>Parameter                                                                                                                       | Значение при температуре геотермальной воды, °C<br>Value at geothermal water temperature, °C |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                                                                                                                             | 70                                                                                           | 75   | 80   | 85   | 90   | 95   | 100  | 105  | 110  |
| Температура греющего источника на входе в генератор $t_{h1}$ , °C<br>Temperature of the heating source at the generator inlet $t_{h1}$ , °C | 65                                                                                           | 70   | 75   | 80   | 85   | 90   | 95   | 100  | 105  |
| Концентрация слабого раствора $\xi_a$ , %<br>Concentration of weak solution $\xi_a$ , %                                                     | 52,3                                                                                         | 53,1 | 53,9 | 54,6 | 55,2 | 55,8 | 56,3 | 56,8 | 57,2 |
| Концентрация крепкого раствора $\xi_r$ , %<br>Concentration of strong solution $\xi_r$ , %                                                  | 58,1                                                                                         | 59,4 | 60,5 | 61,5 | 62,4 | 63,2 | 63,9 | 64,5 | 65,1 |
| Кратность циркуляции, а<br>Circulation rate, a                                                                                              | 10,02                                                                                        | 9,43 | 9,17 | 8,91 | 8,66 | 8,54 | 8,41 | 8,37 | 8,24 |
| Тепловая нагрузка генератора $q_h$ , кВт<br>Thermal load of the generator $q_h$ , kW                                                        | 3,42                                                                                         | 3,38 | 3,35 | 3,31 | 3,28 | 3,25 | 3,23 | 3,21 | 3,19 |
| Холодопроизводительность $q_0$ , кВт<br>Cooling capacity $q_0$ , kW                                                                         | 1,78                                                                                         | 2,03 | 2,26 | 2,45 | 2,59 | 2,70 | 2,79 | 2,85 | 2,88 |
| Тепловой коэффициент ( $\zeta$ )<br>Thermal coefficient ( $\zeta$ )                                                                         | 0,52                                                                                         | 0,60 | 0,67 | 0,74 | 0,79 | 0,83 | 0,86 | 0,88 | 0,90 |



**Рис. 2 - Изменение  $\zeta$  в зависимости от температуры подачи горячей воды в генератор**

**Fig. 2 - Change in  $\zeta$  depending on the temperature of hot water supplied to the generator**

Повышение температуры генерации интенсифицирует процесс дегазации, разность концентраций достигает 7,5–8%, а кратность циркуляции падает до 8,2–8,4, что благоприятно сказывается на термодинамике.

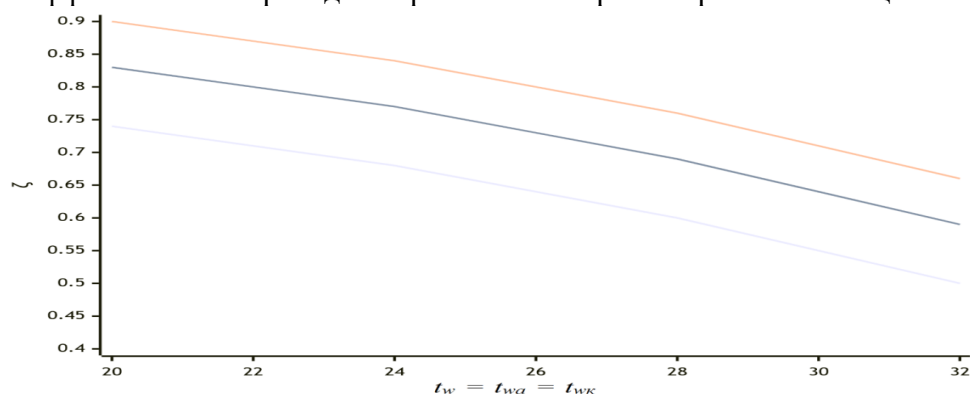
Практически важным является вопрос гидравлического согласования контуров. Расчеты указывают на существование оптимума в соотношении расходов геотермальной воды и хладоносителя. Для температуры источника 90°C оптимальный интервал соотношения составляет 1,8–2,2. При заниженных расходах греющей среды теплосъем в генераторе падает, при завышенных – снижается температурный напор, что ухудшает параметры генерации. Ключевую роль в эффективности цикла играет растворный теплообменник.

В табл. 2 представлены данные о влиянии его эффективности на  $\zeta$ . Увеличение эффективности рекуперации с 0,4 до 0,8 обеспечивает прирост  $\zeta$  на 30–38% за счет предварительного подогрева слабого раствора перед генератором. При эффективности выше 0,7 нагрузка на генератор снижается на 15–20% относительно схемы без утилизации. Температура охлаждающей воды является лимитирующим фактором для конденсатора и абсорбера. Как видно из рис. 3, повышение температуры охлаждения с 20 до 32°C снижает  $\zeta$  на 25–30%. При температуре геотермального источника 75°C и температуре охлаждающей воды выше 28°C наблюдается риск кристаллизации раствора ( $\xi > 64\%$ ),

**Таблица 2. Влияние эффективности теплообменника на тепловой коэффициент**  
**Table 2. Effect of heat exchanger efficiency on thermal coefficient**

| Температура геотермальной воды, °C<br>Temperature of geothermal water, °C | ζ при эффективности теплообменника<br>ζ at heat exchanger efficiency |      |      |      |      |
|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|
|                                                                           | 0,4                                                                  | 0,5  | 0,6  | 0,7  | 0,8  |
| 75                                                                        | 0,47                                                                 | 0,51 | 0,55 | 0,60 | 0,65 |
| 85                                                                        | 0,61                                                                 | 0,65 | 0,69 | 0,74 | 0,79 |
| 95                                                                        | 0,71                                                                 | 0,75 | 0,79 | 0,83 | 0,87 |

Это является критическим ограничением для эксплуатации в жарком климате. Для оценки эффективности проведено сравнение с парокомпрессионным циклом (табл. 3).



**Рис. 3 - Зависимость ζ от температуры охлаждающей воды**  
**Fig. 3 - Dependence of ζ on the cooling water temperature**

Принято, что энергопотребление компрессора составляет 0,25–0,35 кВт/кВт холода. Для АБХМ учтены затраты на привод насосов и вентиляторов градирни (суммарно 0,04–0,07 кВт/кВт холода) [16]. Даже с учетом расхода электричества на собственные нужды, затраты первичной энергии в геотермальной АБХМ в 3–5 раз ниже, чем в компрессионном аналоге, что обеспечивает кратное снижение углеродного следа [17–20].

**Таблица 3. Сравнение энергетических показателей**  
**Table 3. Comparison of energy indicators**

| Параметр Parameter                                                                                                        | Парокомпрессионная машина<br>Vapor compression machine | АБХМ на геотермальном тепле<br>Absorption cooling system using geothermal heat |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Потребление электроэнергии, кВт/кВт холода<br>Electricity consumption, kW/kW of cooling                                   | 0,25-0,35                                              | 0,04-0,07                                                                      |
| Потребление тепловой энергии, кВт/кВт холода<br>Heat energy consumption, kW/kW of cooling                                 | —                                                      | 1,1-1,9                                                                        |
| Первичная энергия (при электрогенерации), кВт/кВт холода<br>Primary energy (for electricity generation), kW/kW of cooling | 0,65-0,95*                                             | 0,15-0,25**                                                                    |
| Выбросы CO <sub>2</sub> , г/кВт·ч холода<br>CO <sub>2</sub> emissions, g/kWh of cold                                      | 150-220                                                | 20-40                                                                          |

Примечание: \*С учетом КПД электрогенерации и потерь в сетях; \*Тепло от ВИЭ

\*Taking into account the efficiency of electricity generation and losses in the networks; \*Heat from renewable energy sources

Проведенное моделирование подтверждает, что низкопотенциальное геотермальное тепло (70–110°C) пригодно для эффективной генерации холода в абсорбционных машинах. Полученные значения ζ (0,52–0,90) коррелируют с данными, представленными

в работах [21, 22], что верифицирует предложенную модель. Выявлен нижний порог температуры ( $\sim 75^{\circ}\text{C}$ ), при котором дальнейшая эксплуатация одноступенчатой схемы становится нерациональной из-за падения КПД и опасности кристаллизации.

В таких условиях оправдано применение двухступенчатых абсорбционных циклов, которые, хотя и имеют меньший  $\zeta$  (0,35–0,45), способны работать при более низких температурах [23]. Важным прикладным аспектом является необходимость поддержания стабильно низкой температуры охлаждающей воды. В регионах с жарким летом рекомендуется использование гибридных градиентных или каскадных схем с парокомпрессионным доохлаждением [24, 25]. Экономическая привлекательность таких решений зависит от капитальных затрат на бурение и теплообменники [7]. Однако, как отмечается в [2, 9], абсорбционные системы выигрывают у цикла Ренкина в задачах охлаждения из-за меньшей сложности и стоимости оборудования. органического

**Вывод.** В данной работе акцент сделан на энергетическом анализе. Перспективным направлением дальнейших исследований является эксергоэкономическая оптимизация, позволяющая локализовать и минимизировать термодинамические потери в каждом элементе установки. Доказана возможность эффективного использования геотермальной воды ( $70\text{--}110^{\circ}\text{C}$ ) для привода абсорбционных бромистолитиевых холодильных машин. Достигнутые значения  $\zeta$  (0,52–0,90) сопоставимы с показателями традиционных систем, но при многократно меньшем потреблении электроэнергии.

Установлена зона наиболее интенсивного роста эффективности — интервал температур  $75\text{--}85^{\circ}\text{C}$  (рост  $\zeta$  с 0,60 до 0,74). Дальнейшее повышение температуры источника дает менее выраженный эффект. Включение в схему растворного теплообменника с эффективностью 0,7 позволяет повысить тепловой коэффициент на 40–45% за счет уменьшения подвода тепла в генератор. Выявлено оптимальное соотношение расходов геотермального теплоносителя и хладоносителя (1,8–2,2), при котором холодопроизводительность установки максимальна.

Показано, что рост температуры охлаждающей воды с  $20$  до  $32^{\circ}\text{C}$  снижает  $\zeta$  на 25–30%. При температурах охлаждения выше  $28^{\circ}\text{C}$  и низких параметрах источника ( $75^{\circ}\text{C}$ ) возникает риск кристаллизации раствора. Сравнение с парокомпрессионным циклом демонстрирует снижение расхода первичной энергии в 3–5 раз и сокращение выбросов  $\text{CO}_2$  на 80–85% при использовании геотермальной АБХМ. Результаты работы могут служить основой для проектирования энергоэффективных систем кондиционирования в регионах, располагающих геотермальными ресурсами.

#### Библиографический список:

1. Эль-Хадж Ассад М. Геотермальные абсорбционные системы охлаждения: перспективы на 2025 год / М. Эль-Хадж Ассад, М. Садегзаде, М.Х. Ахмади, Р. Кумар // *Обзоры возобновляемой и устойчивой энергетики*. – 2025. – Т.189. – С. 113912.
2. Лунд Дж.В. Прямое использование геотермальной энергии: глобальный обзор 2025 года / Дж.В. Лунд, А.Н. Тот // *Геотермика*. – 2026. – Т.115. – С. 102–121.
3. Эвелой В. Устойчивые системы централизованного охлаждения: состояние, проблемы и будущие возможности / В. Эвелой, Д.С. Аю // *Журнал экологически чистого производства*. – 2023. – Том. 389. – С. 135983.
4. Ахунди М. Сравнение двух новых геотермальных систем охлаждения на основе 4Е-оценок / М. Ахунди, М. Дейми-Даштебаяз, М. Асади, Э. Амири Рад // *Чистые технологии и экологическая политика*. – 2024. – Т.26. – С. 1-18.
5. Альробаян А.А. Энергетический, эксергетический, экономический и экологический (4Е) анализ многогенерационной системы, состоящей из цикла Брайтона с солнечной поддержкой, цикла Калина и абсорбционного chillera // *Прикладная теплотехника*. – 2022. – Т.204. – С. 117988.
6. Асади М. Сравнение рентабельности производства электроэнергии из отработанного тепла двигателями внутреннего сгорания: эксергоэкономический анализ / М. Асади, М. Дейми-Даштебаяз, Э. Амири Рад // *Прикладная теплотехника*. – 2022. – Т. 211. – С. 118443.
7. Чалышкан Х. Расширенный, усовершенствованный и комбинированный эксергетический анализ новой геотермальной системы комбинированного охлаждения, отопления и электроснабжения /

- Х. Чалышкан, Э. Ачиккалп, Х. Ростамнеджад Таклах, В. Заре // Возобновляемая энергия. – 2023. – Т. 206. – С. 125-134.
8. Никбахти Р. Абсорбционные системы охлаждения – Обзор различных методов повышения энергоэффективности / Р. Никбахти, Х. Ван, А.К. Хуссейн, А. Иранманеш // Alexandria Engineering Journal. – 2022. – Т.61, № 2. – С. 1567-1592.
9. Кини П.Г. Повышение производительности одноступенчатого абсорбционного чиллера LiBr-H<sub>2</sub>O с использованием усовершенствованных конфигураций цикла / П.Г. Кини, С. Кумар, Н. Шарма // Energy Reports. – 2022. – Т. 8. – С. 1325-1335.
10. Матак Н. Интеграция мусоросжигательных заводов в системы централизованного теплоснабжения и охлаждения в условиях меняющихся энергетических рынков / Н. Матак, Т. Новосел, Г. Крайнич // Energy. – 2022. – Т.239. – С. 122–136.
11. Доминкович Д.Ф. Обзор технологий и применений централизованного охлаждения: обновление 2022 года /Д.Ф. Доминкович, К.А. Казагич, Т.Пукшеч //Энергетика. – 2022. – Том 252. – С. 124–139.
12. Азариян Х. Оценка высокоэффективной геотермальной многогенерационной системы для производства электроэнергии, охлаждения и водорода / Х. Азариян, М. Важди, Х. Ростамнеджад Таклах // Преобразование и управление энергией. – 2022. – Т. 268. – С. 116012.
13. Чаглаян Х. Расширенный эксергетический анализ и оптимизация когенерационной системы для керамической промышленности / Х. Чаглаян, Х. Чалышкан // Обзоры возобновляемой и устойчивой энергетики. – 2022. – Том 155. – С. 111928.
14. Чен П. Традиционный и усовершенствованный эксергетический анализ абсорбционно-эжекторного холодильного цикла с воздушным охлаждением и минеральной мазутной парой R290 / П. Чен, Г. Хе, Ю. Гао // Преобразование и управление энергией. – 2022. – Т. 252. – С. 115112.
15. Амбриз-Диас В.М. Усовершенствованный эксергетический и эксергоэкономический анализ полигенерационной установки, работающей в геотермальном каскаде / В.М. Амбриз-Диас, К. Рубио-Майя, Э. Руис-Касанова // Преобразование и управление энергией. – 2022. – Т.267. – С. 115894.
16. Аль-Хамед К.Х.М. Исследование интегрированной системы концентрированной солнечной и геотермальной энергии с комбинированным эжекторно-абсорбционным холодильным циклом для небольшого населенного пункта / К.Х.М. Аль-Хамед, И. Динсер // Международный журнал холодильной техники. – 2022. – Т.136. – С. 112-125.
17. Ахмади Боягчи Ф. Эксергоэкономический анализ и оптимизация солнечной двухиспарительной парокомпрессионно-абсорбционной каскадной холодильной системы с использованием наножидкости вода/CuO / Ф. Ахмади Боягчи, М. Махмуднежад, В. Сабети // Журнал экологически чистого производства. – 2022. – Том 330. – С. 129876.
18. Ассад М.Е.Х. Охлаждение помещений с использованием геотермального одноступенчатого абсорбционного чиллера вода/бромид лития / М.Е.Х. Ассад, М. Садегзаде, М.Х. Ахмади // Энергетическая наука и инженерия. – 2022. – Т. 10, № 8. – С. 2745-2760.
19. Бальбоа-Фернандес М. Системы централизованного теплоснабжения и охлаждения в Испании: обновление 2023 года / М. Бальбоа-Фернандес, Дж.А. Карта, Р. Кабрера // Энергетические отчеты. – 2023. – Т. 9. – С. 1245-1258.
20. Справочник по централизованному охлаждению 2025. Брюссель: Euroheat & Power, 2025. – 182 с.
21. Справочник ASHRAE – Применение систем ОВК. – Атланта: ASHRAE, 2024. – 1150 с.
22. Горуж И. Сравнение растворов аммиака в воде и воды с бромидом лития в пароабсорбционных холодильных системах: современная перспектива / И. Горуж, М. Килич // Международные сообщения по тепло- и массопереносу. – 2023. – Т. 142. – С. 106632.
23. Динсер И. Геотермальные энергетические системы для охлаждения: обзор 2024 года / И. Динсер, Х. Аль-Хамед // Энергетика. – 2024. – Т. 298. – С. 131234.
24. Ван С. Передовые абсорбционные технологии охлаждения: обзор 2025 года / С. Ван, Р. Никбахти, А.К. Хусс. Alexandria Engineering Journal. 2025; 9:45-67.
25. Заре В. Термоэкономическая оптимизация геотермальных абсорбционных чиллеров / В. Заре, Х. Ростамнеджад Таклах // Преобразование и управление энергией. – 2024. – Т.301. – С. 118045.

#### References:

1. El Haj Assad M. Geothermal absorption cooling systems: a 2025 perspective / M. El Haj Assad, M. Sadeghzadeh, M.H. Ahmadi, R. Kumar. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2025;189:113912.
2. Lund J.W. Direct utilization of geothermal energy 2025 worldwide review / J.W. Lund, A.N. Toth. *Geothermics*. 2026; 115:102–121.
3. Eveloy V. Sustainable district cooling systems: status, challenges, and future opportunities / V. Eveloy, D.S. Ayou. *Journal of Cleaner Production*. 2023;389:135983.
4. Akhoundi M. Comparison of two novel geothermal-powered cooling systems based on 4E evaluations / M. Akhoundi, M. Deymi-Dashtebayaz, M. Asadi, E. Amiri Rad. *Clean Technologies and Environmental Policy*. 2024; 26:1-18.

5. Alrobaian A.A. Energy, exergy, economy, and environmental (4E) analysis of a multi-generation system composed of solar-assisted Brayton cycle, Kalina cycle, and absorption chiller. *Applied Thermal Engineering*. 2022; 204: 117988.
6. Asadi M. Comparing the profitability of waste heat electricity generation of internal combustion engines: An exergoeconomic analysis / M. Asadi, M. Deymi-Dashtebayaz, E. Amiri Rad. *Applied Thermal Engineering*. 2022; 211:118443.
7. Caliskan H. Advanced, extended and combined extended-exergy analyses of a novel geothermal powered combined cooling, heating and power system / H. Caliskan, E. Açikkalp, H. Rostamnejad Takleh, V. Zare. *Renewable Energy*. 2023; 206:125-134.
8. Nikbakhti R. Absorption cooling systems – Review of various techniques for energy performance enhancement / R. Nikbakhti, X. Wang, A.K. Hussein, A. Iranmanesh. *Alexandria Engineering Journal*. 2022; 61(2):1567-1592.
9. Kini P.G. Performance enhancement of single stage LiBr-H<sub>2</sub>O absorption chiller using advanced cycle configurations / P.G. Kini, S. Kumar, N. Sharma. *Energy Reports*. 2022; 8:1325-1335.
10. Matak N. Integration of waste-to-energy plant in district heating and cooling systems under changing energy markets / N. Matak, T. Novosel, G. Krajačić. *Energy*. 2022; 239: 122–136.
11. Dominković D.F. A review of district cooling technology and applications: 2022 update / D.F. Dominković, K.A. Kazagić, T. Pukšec. *Energy*. 2022; 252:124–139.
12. Azariyan H. Assessment of a high-performance geothermal-based multigeneration system for production of power, cooling, and hydrogen / H. Azariyan, M. Vajdi, H. Rostamnejad Takleh. *Energy Conversion and Management*. 2022; 268:116012.
13. Caglayan H. Advanced exergy analyses and optimization of a cogeneration system for ceramic industry / H. Caglayan, H. Caliskan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2022; 155: 111928.
14. Chen P. Conventional and advanced exergy analysis of an air-cooled type of absorption-ejection refrigeration cycle with R290-mineral oil as the working pair / P. Chen, G. He, Y. Gao. *Energy Conversion and Management*. 2022; 252:15112.
15. Ambriz-Díaz V.M. Advanced exergy and exergoeconomic analysis for a polygeneration plant operating in geothermal cascade / V.M. Ambriz-Díaz, C. Rubio-Maya, E. Ruiz-Casanova. *Energy Conversion and Management*. 2022; 267:115894.
16. Al-Hamed K.H.M. Investigation of a concentrated solar-geothermal integrated system with a combined ejector-absorption refrigeration cycle for a small community / K.H.M. Al-Hamed, I. Dincer. *International Journal of Refrigeration*. 2022; 136: 112-125.
17. Ahmadi Boyaghchi F. Exergoeconomic analysis and optimization of a solar driven dual-evaporator vapor compression-absorption cascade refrigeration system using water/CuO nanofluid / F. Ahmadi Boyaghchi, M. Mahmoodnezhad, V. Sabeti. *Journal of Cleaner Production*. 2022; 330:129876.
18. Assad M.E.H. Space cooling using geothermal single-effect water/lithium bromide absorption chiller / M.E.H. Assad, M. Sadeghzadeh, M.H. Ahmadi. *Energy Science & Engineering*. 2022;10(8): 2745-2760.
19. Balboa-Fernández M. District heating and cooling systems in Spain: 2023 update / M. Balboa-Fernández, J.A. Carta, R. Cabrera. *Energy Reports*. 2023; 9:1245-1258.
20. District Cooling Handbook 2025. – Brussels: Euroheat & Power, 2025;182.
21. ASHRAE Handbook – HVAC Applications. – Atlanta: ASHRAE, 2024; 1150.
22. Horuz I. A comparison between ammonia-water and water-lithium bromide solutions in vapor absorption refrigeration systems: modern perspective / I. Horuz, M. Kilic. *International Communications in Heat and Mass Transfer*. 2023;142: 106632.
23. Dincer I. Geothermal energy systems for cooling: 2024 review / I. Dincer, H. Al-Hamed. *Energy*. 2024; 298:131234.
24. Wang X. Advanced absorption cooling technologies: a 2025 review / X. Wang, R. Nikbakhti, A.K. Hussein. *Alexandria Engineering Journal*. 2025; 9:45-67.
25. Zare V. Thermoeconomic optimization of geothermal absorption chillers / V. Zare, H. Rostamnejad Takleh. *Energy Conversion and Management*. 2024;301:118045.

**Сведения об авторе:**

Зайцев Иван Александрович, аспирант, образовательный центр «Энергоэффективные инженерные системы»; [yastremskiy81@inbox.ru](mailto:yastremskiy81@inbox.ru); ORCID: 0009-0004-7978-2013

**Information about author:**

Ivan A. Zaitsev, Postgraduate Student, Educational center "Energy efficient engineering systems"; [yastremskiy81@inbox.ru](mailto:yastremskiy81@inbox.ru), ORCID: 0009-0004-7978-2013

**Конфликт интересов/Conflict of interest.**

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов/The author declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/Received 10.12.2025.

Одобрена после рецензирования/Reviced 01.02.2026.

Принята в печать/Accepted for publication 01.05.2026.