

Перспективы внедрения инновационных технологий в получении геотермальной энергии

А. А. Павлов

Санкт-Петербургский горный университет
императрицы Екатерины II

E-mail aap712@yandex.ru

А. В. Лавренов

Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

E-mail avlavrenov@etu.ru

Аннотация. Статья исследует перспективы применения геотермальной энергии в рамках развития возобновляемых источников энергии и перехода к «зеленой» экономике. Авторы подчеркивают важность снижения углеродных выбросов и климатических изменений через уменьшение использования ископаемого топлива. Особое внимание уделено геотермальным технологиям, включая геотермальные температурные градиенты и их роль в производстве тепловой энергии для отопления и охлаждения. Рассмотрены основные типы тепловых насосов, включая абсорбционные и компрессионные системы, их принципы работы и применение в различных условиях, а также влияние геологических и тектонических условий на эффективность геотермальных систем. Авторы также анализируют использование искусственного интеллекта для оптимизации управления и распределения геотермальной энергии, обсуждают прогнозирование нагрузок и возможности «умных сетей». В заключении подчеркивается, что тепловые насосы являются эффективным, экологичным и экономичным решением для систем отопления и горячего водоснабжения, с акцентом на важность правильного выбора тепловых насосов и источников тепла для конкретных проектов.

Ключевые слова: геотермальная энергия, возобновляемые источники энергии, тепловые насосы, энергоэффективность, снижение углекислого газа, экологическая безопасность, искусственный интеллект, оптимизация энергосистем, геотермальные градиенты, «зеленая» экономика

I. ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы связана с тем, что сегодня зеленая энергетика является важным принципом развития многих промышленных компаний.

Развитие системы возобновляемых источников энергии (ВИЭ) является одним из условий перехода России к «зеленой» экономике. На сегодняшний день, подавляющее часть развитых стран мира, такие как: США, Китай, ЕС и ряд других, наращивают производство электроэнергии из возобновляемых источников, которые постепенно обгоняют газ, нефть и уголь [1].

Традиционные источники энергии, такие как уголь, нефть и природный газ, также известные как ископаемое топливо, исследовались и использовались для выработки электроэнергии на электростанциях в течение последних нескольких столетий. Наиболее значительным преимуществом этих источников энергии является то,

что они имеют высокую плотность энергии. Однако, при использовании они выделяют углерод и другие парниковые газы.

Для уменьшения общего уровня углеродного следа и борьбы с изменением климата необходимо снизить использование ископаемого топлива и активизировать внедрение альтернативных источников энергии (ВЭИ), в том числе в том числе повышение доли использования геотермальной энергии в структуре энергетического сектора.

Земная кора устроена таким образом, что с увеличением глубины происходит увеличение температуры горных пород. Это увеличение характеризуется геотермальным температурным градиентом. Использование естественного тепла земли позволяет превращать тепловую энергию с помощью определенных технологий в горячую воду, используемую в системе отопления как жилого фонда, так и различных объектов инфраструктуры (производственные здания, социальные объекты, частные дома, тепличные хозяйства).

Значение геотермального градиента зависит от геолого-тектонических и геолого-исторических условий залегания горных пород. Как правило, в районах с развитой тектонической и неотектонической активностью градиенты высокие, а на древних платформах и регионах со значительной мощностью осадочной толщи значение градиента невелико.

Тепловой насос представляет собой устройство, позволяющее перемещать тепловую энергию из объекта с более низкой температурой в объект с более высокой температурой, тем самым повышая тепловой уровень последнего [2]. Данное устройство похоже на работу холодильника: если холодильник выделяет тепло из своего внешнего пространства наружу, тем самым обеспечивая охлаждение внутреннего пространства, то теплонасос работает в противоположном направлении, абсорбируя тепло из окружающей среды и трансформируя его в энергию, полезную для нагрева помещений [3].

Фундаментальный принцип функционирования теплонасосов заключается в использовании энергетического потенциала, который присущ всем объектам с температурой выше абсолютного минимума. Энергия, хранящаяся в любом материале, зависит от его массы и специфической теплоемкости, представляя собой значительные ресурсы, особенно в контексте

крупных водных объемов, таких как океаны, моря и подземные воды. Учитывая их внушительную массу, становится очевидным, что даже частичное использование их тепловой энергии может обеспечить эффективное отопление зданий, минимизируя при этом воздействие на окружающую среду. Извлечение тепловой энергии из этих источников возможно путем их охлаждения до определенной температуры.

II. МЕТОДЫ

В данной работе применяется комплексный метод, включающий сравнительный анализ и обобщение данных, приведенных в публикациях российских и зарубежных авторов, отраслевых изданиях и бюллетенях, годовых отчетах и материалах производственной деятельности отечественных компаний в сфере использования геотермальной энергии.

III. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

A. Тепловые насосы

В рамках темы исследования предлагается подробнее рассмотреть основные типы тепловых насосов. Теплонасосы классифицируются по механизму передачи энергии на абсорбционные и компрессионные. Абсорбционные теплонасосы функционируют на основе паровой смеси хладагента и абсорбента, где ключевой процесс — это поглощение паров абсорбентом, что может осуществляться различными веществами, включая солевые растворы или водноаммиачные смеси. В случае водноаммиачных систем, хладагентом выступает вода, а абсорбентом — водный раствор, часто на основе бромистого лития (LiBr). Основные достоинства данных систем заключаются в их способности нагревать теплоноситель до температур в диапазоне 60-80°C, возможности выбора устройств с различной тепловой мощностью (от киловатт до мегаватт), их долговечности, а также в использовании в качестве источника энергии пара, газа или горячей воды [4].

Компрессионные теплонасосы включают в себя четыре ключевых компонента: компрессор, конденсатор, расширительный клапан и испаритель, где циклическое сжатие и последующее расширение хладагента служат основой для генерации тепловой энергии. Эти устройства могут быть категоризированы в зависимости от типа привода компрессора [4].

Преимущества этих систем заключаются в их высокой энергоэффективности. Однако к недостаткам относятся шум при работе и необходимость поддержания герметичности системы на всем протяжении цикла хладагента. Рабочий процесс компрессионного теплонасоса предполагает замкнутый цикл, в котором в качестве хладагента используются летучие жидкости. Эти жидкости обеспечивают передачу тепла от источника к системе за счет испарения в испарителе при более низкой температуре, чем у источника тепла. Когда пар испаряется, он направляется в компрессор, где происходит его сжатие, в результате чего температура пара увеличивается. Затем нагретый пар переходит в конденсатор, где он конденсируется, отдавая свое тепло. После этого, хладагент под

давлением проходит через расширительный клапан, где его давление и температура понижаются, после чего он возвращается в испаритель, завершая цикл.

Теплонасосы типа «вода-вода» активно задействуют тепловую энергию, находящуюся в подземных водах, для нагрева воды, используемой в системах отопления и горячего водоснабжения домов. Эти устройства относят к категории геотермальных систем, поскольку процесс добычи тепла осуществляется через специальные контуры труб, уложенные под землей или на дне водоема, по которым циркулирует жидкий теплоноситель, передающий тепло в домашнюю систему отопления.

Существует несколько методов установки таких систем:

- Вертикальное бурение позволяет экономить место на участке. Однако затраты на создание такой системы высоки из-за необходимости проведения геологических исследований и использования специализированного бурового оборудования. В районах с гористой местностью реализация вертикальной системы сталкивается с препятствиями из-за сложности бурения в каменистой почве.
- При масштабных строительных проектах, таких как промышленные объекты или многоквартирные дома, возможно интегрировать установку геотермальной системы с работами по прокладке коммуникаций. В случае индивидуального жилищного строительства потребуется привлечь дорогостоящую технику и выделять значительную площадь участка (порядка 400 м²) под геотермальный коллектор. В теплое время года растения в этой зоне могут страдать от переохлаждения почвы, что делает невозможным ведение огородничества над коллектором. Следовательно, горизонтальная геотермальная система представляет собой непрактичный вариант для маленьких частных участков, где каждый квадратный метр на счету.

Касаемо скважинных тепловых насосов, необходима привязка к геологии земли, а также к геологии конкретного участка, потому что именно водоносные горизонты определяют экономику и эффективность работы теплового насоса.

B. Примеры использования тепловых насосов

В Российской Федерации наблюдается стабильно высокий интерес к развешиванию возобновляемой энергетики. Особое внимание уделяется эксплуатации тепловых насосов, которые уже активно используются как в жилых, так и в промышленных зонах. Однако, применение тепловых насосов в социальных учреждениях ещё мало изучено, хотя здесь они представляют из себя важный инструмент для оптимизации систем отопления и снижения государственных расходов.

Если говорить о социальной составляющей, то при обустройстве систем отопления в школах и детских садах ставится задача предотвращения перегрева радиаторов и поддержания теплых полов. Важным

аспектом является также контроль за температурой горячей воды и обеспечение её антибактериальной безопасности. Эти системы должны быть не только безопасными и надежными, но и устойчивыми к внешним воздействиям, что делает их предпочтительнее в сравнении с централизованным отоплением.

В Томске в 2011 году был построен детский сад «Солнечный зайчик», получивший высшую оценку энергоэффективности – класс «А». Здесь функционирует система, основанная на геотермальных тепловых насосах, которая полностью обеспечивает потребности здания в отоплении, горячей воде и охлаждении. [5].

Отопительная система реализована через установку водяных тёплых полов, с температурой теплоносителя от 35 до 45 °С. Дополнительные низкотемпературные устройства обогрева предусмотрены для использования в периоды особенно сильных морозов. В летний период, когда столбик термометра поднимается до 25–27 °С, система переключается на пассивное охлаждение, с возможностью активации компрессора при необходимости дополнительного охлаждения.

Здание общей площадью 1500 м² оснащено тремя геотермальными насосами модели DHP-R42, которые за каждый потребляемый кВт электричества генерируют от 4 до 6 киловатт тепла. Экономическая выгода от проекта проявляется в его окупаемости в течение пяти–шести лет.

Похожий проект реализован в школе села Вершинино Томской области. В селе нет централизованной системы теплоснабжения, поэтому каждый объект требует создания собственного источника тепловой энергии. При выборе инвестор предпочёл инновационную технологию с учётом её экономических показателей и потребительских характеристик [5].

Техническая реализация этой системы позволяет обеспечить здание отоплением, горячим водоснабжением и охлаждением без необходимости прокладки теплосетей или подключения к газу. Опыт эксплуатации демонстрирует простоту в поддержании нужного микроклимата в детских учреждениях, соответствующего санитарным нормам, при этом срок службы насосов превышает 20 лет без выбросов CO₂ и риска возгорания.

Применение этой технологии также эффективно для спортивных объектов, например, для подогрева футбольных полей для круглогодичных игр. Возможна установка под полем теплоколлектора для отопления помещений стадиона, как это было сделано на стадионе футбольного клуба Winterton Rangers в Винтерторне, Северный Линкольншир, Англия.

Для ледовых арен, наоборот, критично постоянно поддерживать охлаждение льда. На примере реконструкции стадиона Lofbergs Arena в Швеции видно, что тепловые насосы не только обеспечивают эффективность холодильных систем, но и помогают снизить затраты на отопление и горячее водоснабжение. Здание площадью 10 тыс. м² оборудовано воздушной системой отопления и охлаждения с шестью насосами DHP-R42, использующими лёд в качестве источника

энергии, что позволило сократить годовые затраты с 8,7 до 4,8 млн рублей [5].

Несмотря на то, что рынок тепловых насосов широко развит в Японии, Швеции, Норвегии и некоторых других странах, центром развития подобных технологий остается Европа.

В настоящее время Швеция признана одной из ведущих стран мира по использованию тепловых насосов. Этому явлению во многом способствует глобальный рост цен на нефть и электричество, а также увеличение энергетических пошлин в Швеции, что значительно повысило конкурентоспособность тепловых насосов. Такой стремительный рост рынка тепловых насосов способствовал тому, что за последние 20 лет в Швеции снизилось использование нефтепродуктов для отопления более чем на 75 %. Швеция гордится тем, что сегодня тепловые насосы используются более чем в половине частных домов страны. Подавляющее большинство зданий Стокгольма обогревается при помощи морских теплонасосов. Кроме того, многие населенные пункты, расположенные на побережье Балтийского моря, также используют эту технологию для обогрева зданий. Эту технологию активно внедряют и соседние скандинавские страны, такие как Норвегия [6, 7].

Возвращаясь к отечественному опыту, стоит отметить следующее – если объект имеет коммерческое предназначение, то выбор теплового насоса должен определяться в целом экономией электроэнергии в масштабах производства.

Существуют примеры успешной работы тепловых насосов для схем кондиционирования именно в южных тёплых районах. Это тоже интересный опыт, в котором в летнее время тепловые насосы могут работать в обратном направлении. Условно температура воды на определённой глубине – это некая константа, и использование этой температуры может происходить и в одну, и в другую сторону [8].

С. Искусственный интеллект

В настоящее время актуальность разработки и внедрения инновационных технологий в энергетической отрасли, в частности в области геотермальной энергетики, становится всё более очевидной. Учитывая растущие потребности в энергоресурсах и стремление к минимизации воздействия на окружающую среду, применение искусственного интеллекта (ИИ) представляет собой одно из наиболее перспективных направлений для оптимизации энергетических систем.

Искусственный интеллект, благодаря своей способности анализировать большие объёмы данных и принимать на их основе обоснованные решения, находит применение в различных аспектах управления геотермальной энергией. Оптимизация распределения энергии является одним из ключевых направлений, где ИИ может сыграть значительную роль. Использование алгоритмов машинного обучения и нейронных сетей позволяет не только анализировать текущее состояние энергосистемы, но и прогнозировать будущие изменения в потреблении энергии, адаптируя распределение

ресурсов таким образом, чтобы максимизировать эффективность и надежность энергоснабжения.

В контексте геотермальной энергетики, где производство энергии тесно связано с геологическими и климатическими условиями, способность ИИ к анализу больших данных предоставляет уникальные возможности для оптимизации работы [9]. Алгоритмы могут учитывать множество факторов, от температуры и давления подземных вод до внешних климатических условий, чтобы предсказывать возможные колебания в производстве энергии и соответственно адаптировать её распределение.

Кроме того, управление энергетическими сетями с использованием ИИ обеспечивает возможность создания так называемых «умных сетей». В этих условиях, системы могут не только автоматически реагировать на изменения в потреблении и производстве энергии, но и предотвращать аварийные ситуации, а также оптимизировать обслуживание и эксплуатацию энергетических установок. Это особенно важно для геотермальной энергетики, где оборудование и инфраструктура требуют тщательного мониторинга и управления [10, 11].

Прогнозирование нагрузок является ещё одной областью, где применение ИИ открывает новые возможности. Точные прогнозы потребления энергии позволяют не только эффективно распределять ресурсы, но и планировать обслуживание сети, минимизируя риски простоев и аварий. В геотермальной энергетике, где производственные мощности могут быть ограничены геологическими условиями, способность точно прогнозировать потребности в энергии становится ключевым фактором для обеспечения стабильности и надёжности энергоснабжения.

Для демонстрации преимуществ использования ИИ в геотермальной энергетике можно провести эксперимент, основанный на сборе и анализе данных о потреблении энергии, производственных мощностях и состоянии инфраструктуры [12]. Разработка и обучение моделей ИИ на основе этих данных позволит не только оптимизировать текущие процессы, но и спрогнозировать будущие тенденции, обеспечивая таким образом адаптивность и устойчивость энергосистемы к изменяющимся условиям [13].

В заключение, применение искусственного интеллекта в геотермальной энергетике представляет собой перспективное направление, которое может существенно повысить эффективность, надежность и экономичность энергетических систем. Внедрение ИИ позволит не только оптимизировать существующие процессы, но и откроет новые возможности для развития и совершенствования геотермальной энергетики как ключевого компонента современной энергетической инфраструктуры [14, 15].

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Стоит отметить, что использование теплонасосов является эффективным, экологичным и экономичным способом отопления и горячего водоснабжения для различных объектов. Теплонасос представляет собой оптимальный выбор для тех, кто стремится к созданию

или обновлению энергоэффективной системы отопления, охлаждения или горячего водоснабжения, благодаря своей высокой эффективности и низкому воздействию на окружающую среду.

Первый этап в подборе нужного теплового насоса заключается в анализе, цель которого – выявить оптимальный тип насоса и источник тепла (воздушный, водный или геотермальный) для заданного проекта. Этот этап критически важен для обеспечения эффективности и экономической выгоды от внедрения системы.

Системы автоматизации, системы цифровых технологий, безусловно, повысят эффективность работы, как самих тепловых насосов, так и, в целом, системы отопления и энергосбережения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Рыженков А.Я. Развитие возобновляемых источников энергии и их значение для перехода России на стандарты «зеленой» экономики / А.Я. Рыженков, Л.Д. Буринова // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Экономика. Управление. Право. 2022. Т. 22, № 4. С. 432-439. DOI 10.18500/1994-2540-2022-22-4-432-439. EDN KRLDTY.
- [2] Радченко С.А. Теплотехника и энергетические машины : Учебное пособие / С.А. Радченко, А.Н. Сергеев. Тула: Тульский государственный университет, 2015. 630 с. EDN UXCRYN.
- [3] Папин В.В. Микроэнергокомплекс на базе влажно-паровой турбины, солнечного коллектора и теплового насоса: Автореф. дис.... канд. техн. наук / Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. Новочеркасск, 2013. 160 с.
- [4] Дохоян Е. В. Классификация тепловых насосов по виду передачи энергии // Поколение будущего: Взгляд молодых ученых- 2021: Сб. науч. ст. 10-й Междун. молодежной науч. конф. В 4-х томах, Курск, 11–12 ноября 2021 года / Отв. ред. А.А. Горохов. Том 4. Курск: Юго-Западный государственный университет, 2021. С. 219-222. EDN FSJCRB.
- [5] Тепловые насосы на социальных объектах // С.О.К. URL: <https://www.c-o-k.ru/articles/teplovye-nasosy-na-social-nyh-ob-ektah> (дата обращения: 17.03.2024).
- [6] Тепловые насосы: как обогревают дома жители Швеции и Норвегии Источник: <https://travelask.ru/blog/posts/13924-teplovye-nasosy-kak-obogrevayut-doma-zhiteli-shvetsii-i-norv> // TravelAsk URL: <https://travelask.ru/blog/posts/13924-teplovye-nasosy-kak-obogrevayut-doma-zhiteli-shvetsii-i-norv> (дата обращения: 20.03.2024).
- [7] Asadulagi M.-A.M., Pershin I.M., Tsapleva V.V. Research on Hydrolithospheric Processes Using the Results of Groundwater Inflow Testing. Water 2024, 16, 487. <https://doi.org/10.3390/w16030487>
- [8] Головина Е.И., Гребнева А.В. (2022) Особенности управления ресурсами подземных вод на трансграничных территориях (на примере Калининградской области) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. №4, С. 85-94 <https://doi:10.20403/2078-0575-2022-4-85-94>
- [9] Головина Е.И., Баярхуу Цэлмэг (2023) Стоимостная оценка как инструмент управления ресурсами пресных подземных вод в Российской Федерации // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. №4а, 81-91 doi: 10.20403/2078-0575-2023-4а-81-91
- [10] Golovina E, Khloponina V, Tsiglianu P, Zhu R (2023). Organizational, Economic and Regulatory Aspects of Groundwater Resources Extraction by Individuals (Case of the Russian Federation). Resources 12: 89. doi: 10.3390/resources12080089
- [11] Afanaseva, O., Neyrus, S., Navatskaya, V., Perezhogina, A. (2023). Risk Assessment of Investment Projects Using the Simulation Decomposition Method. In: Zokirjon ugli, K.S., Muratov, A., Ignateva, S. (eds) Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East (AFE-2022). AFE 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 706. Springer, Cham. P.776-785. DOI: 10.1007/978-3-031-36960-5_88

- [12] Afanasyev M.P. Simulation of the Centrifugal Compressor Flow Part of the Internal Combustion Engine to Determine Areas of Non-Evaporated Moisture Effective Discharge during Charge Air Evaporative Cooling. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020, 459,1,022053. Doi:10.1088/1755-1315/459/2/022053
- [13] Ilyushin Y.V., Martirosyan, A. The development of the sodberg electrolyzer electromagnetic field's state monitoring system. Sci Rep 14, 3501 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-52002-w>
- [14] Nikolaev A.K., Dokoukin V.P., Lykov Y.V., Fetisov V.G., Research of processes of heat exchange in horizontal pipeline, 2018 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 327 032041. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/327/3/032041>
- [15] Ilyushin, Y.V., Asadulagi, M.-A.M. Development of a Distributed Control System for the Hydrodynamic Processes of Aquifers, Taking into Account Stochastic Disturbing Factors / Water, № 15, 2023. С.1–16. <https://doi.org/10.3390/w15040770>