

Технологии геотермальной энергетики

Совет по приоритетному направлению Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации «Переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья, формирование новых источников, способов транспортировки и хранения энергии» на заседании, состоявшемся 19 октября 2022 года, рассмотрел заявку на комплексный научно-технический проект полного инновационного цикла (КНТП) «Технологии геотермальной энергетики».



Инициатором комплексного проекта выступило Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН).

На заседании Совета проект представил научный руководитель ИТ СО РАН академик РАН **Алексеев Сергей Владимирович**.

Развитие геотермальной энергетики в России является важным направлением, в первую очередь, для повышения эффективности энергоснабжения и энергобезопасности Дальнего Востока, включая Камчатку и Курильские острова, и других удаленных районов, располагающих надлежащими геотермальными ресурсами.

В последнее десятилетие в мире наблюдается стремительный рост доли возобновляемых источ-

ников энергии в мировом энергетическом балансе. Среди них особое место занимает геотермальная энергетика. Геотермальная энергия – экологически чистый и практически неисчерпаемый источник энергии.

По данным Всемирного геотермального конгресса суммарная установленная мощность геотермальных электростанций (ГеоЭС) в мире в 2021 году составляла 16 ГВт, а выработка электрической энергии 105 ТВт ч/год (www.iea-shc.org). В России для трех эксплуатируемых в настоящее время ГеоЭС на Камчатке (Паужетская, Верхне-Мутновская и Мутновская) установленная мощность составляет 74 МВт. Прирост установленной мощности ГеоЭС в мире за последние 10 лет составил 41%, в основном, благодаря сооружению бинарных энергоблоков на уже действующих ГеоЭС.

Характеристика технологий

Геотермальная энергетика как отрасль энергетики включает:

- **гидрогеотермальную энергетику**, основанную на использовании нагретых подземных вод, и
- **петротермальную энергетику**, предусматривающую использование тепла сухих пород, залегающих на глубинах 3-10 км при температурах до 350°C. По мнению международного экспертного сообщества «Глобальная Энергия» именно последний вид энергии считается наиболее перспективным в будущем, поскольку является практически неисчерпаемым и экологически чистым, мало зависящим от географического положения стран планирующих его к полезному использованию.

Основные направления полезного использования геотермальной энергии – выработка электроэнергии и теплоты для системы теплоснабжения:

- при температуре геотермального теплоносителя выше 150-350°C – выработка электроэнергии по совмещенным циклам Ренкина (бинарный цикл), состоящим из стандартной паротурбинной установки и установки с низкокипящим веществом;
- при 70-150 °C – выработка электроэнергии по циклу Ренкина с использованием низкокипящих веществ с направлением охлажденного геотермального теплоносителя в систему теплоснабжения;
- ниже 50-70 °C – геотермального теплоснабжения с применением тепловых насосов для максимально эффективной реализации всего температурного потенциала геотермальных источников, а также повышения эффективности работы геотермальных электростанций (ГеоЭС).

Институт теплофизики СО РАН является первопроходцем в создании геотермальной электростанции на базе бинарного цикла. Изобретение технологии получения электроэнергии из горячей воды с температурой более 80°C, которое легло в основу бинарных геотермальных электростанций, принадлежит советским ученым С.С. Кутателадзе и А.М.Розенфельду. Первая в мире ГеоЭС с бинарным циклом была построена и пущена в 1967 году на Камчатке – это Паратунская ГеоЭС мощностью 600 кВт. Несмотря на то, что первая в мире геотермальная электростанция с бинарным циклом была введена в нашей стране, производство оборудования для геотермальных электростанций с бинарным циклом в России не получило развития из-за низкой стоимости органического топлива в стране. Сейчас в мире уже около 2000 таких энергоблоков, причем бинарные энергоблоки – это основа не только геотермальной энергетики, возобновляемой, но и энергосбережения. Технологии бинарных геотермальных электростанций существенно расширяют зону их применения за счет вовлечения геотермальных источников с более низким температурным потенциалом, запасы которых в мире существенно больше, чем запасы

ОБОСНОВАНИЕ АКТУАЛЬНОСТИ ПРОЕКТА

Геотермальная энергия
ПРИПОВЕРХНОСТНОЕ ТЕПЛО –
тепло подземных источников нагретой воды
ГИДРОГЕОТЕРМАЛЬНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

ГЛУБИННОЕ ТЕПЛО (3-10 км) –
тепло сухих пород с температурой до 350 °C
ПЕТРОТЕРМАЛЬНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Преимущества петротермальной энергетики

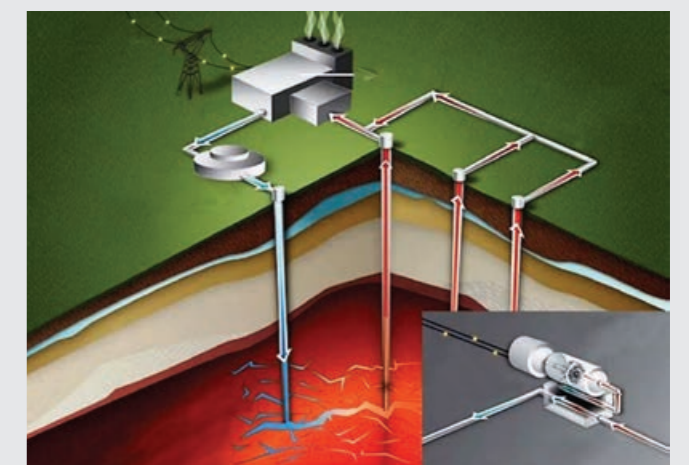
- Непрерывное производство энергии в любом месте Земли
- ВИЭ
- Нет экологических последствий
- Отсутствие эмиссии газов, в т.ч. CO₂
- Не надо хранить первичную энергию
- Не надо много земли
- Неисчерпаемый источник энергии

Использование геотермальной энергии

t > 160 °C	→ ГеоЭС на сухом паре	(э/э)
t > 120 °C	→ ГеоЭС на пароводяной смеси	(э/э)
t > 70 °C	→ ГеоЭС с бинарным циклом	(э/э)
t ~ 100 °C	→ прямое теплоснабжение	(тепло)
при низкой t	→ тепловые насосы	(тепло)

Одна из основных проблем использования термальных вод – их высокая минерализация, которая достигает 200 г/л (и даже 700 г/л). Главными в природных водах являются 6 ионов, к которым относятся 3 аниона – хлор Cl⁻, сульфат SO₄²⁻, гидрокарбонат HCO₃⁻ и 3 катиона – натрий Na⁺, кальций Ca²⁺ и магний Mg²⁺. В результате имеют место интенсивные процессы загрязнения и коррозии оборудования. Однако, рассолы разных месторождений могут содержать ценные химические вещества (литий, рубидий, цезий, бром, калий и другие), которые можно извлекать в промышленных масштабах.

Схема утилизации глубинного тепла (EGS). Глубина до 10 км, температура до 350°C.



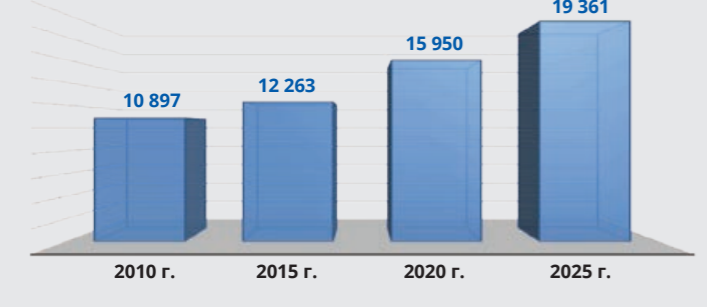
Источник: ИТ СО РАН

Современное состояние

Установленная электрическая мощность и производство энергии на ГеоЭС в странах мира в 2020 г.
Доля геотермальной энергии в установленной мощности ВИЭ – 0,6%!

Страна	Установленная мощность, МВт(э)	Энергия, ГВт ч/год	Доля энергии в энергобалансе страны, %
1 США	3700	18 366	0,4
2 Индонезия	2289	15 315	
3 Филиппины	1918	9893	
4 Турция	1549	8168	
10 Исландия	755	6010	30
14 Россия	82	441	
...			
Всего	15 950		

Установленная электрическая мощность геотермальных станций в мире с 2010 по 2025 гг.



Источник: ИТ СО РАН

высокотемпературных легкодоступных источников. Применение бинарных ГеоЭС позволит эффективно осуществлять энергоснабжение небольших населенных пунктов, где имеется горячая геотермальная вода, находящихся вдали от централизованного энергоснабжения.

Для утилизации теплоты геотермальной воды с температурой 20–45 °С с одновременным нагревом воды систем отопления и горячего водоснабжения автономных объектов применяются абсорбционные бромисто-литиевые тепловые насосы (АБТН) понижающего типа. Для утилизации теплоты геотермальной воды с температурой 50–70 °С и нагрева воды систем отопления используются АБТН повышающего типа. Для работы АБТН этого типа источник тепловой энергии не нужен. Однако, необходим источник охлаждающей воды с температурой 5–15 °С (горные реки, находящиеся вблизи от геотермального источника). В АБТН повышающего типа можно нагреть воду до 95 °С и выше. Для утилизации теплоты геотермальной воды с температурой менее 40 °С на отопление и горячее водоснабжение автономных объектов применяются парокompрессионные тепловые насосы (ПКТН).

Возможен также вариант дешевого автономного геотермального электроснабжения не эксплуатируемых и малодебитных нефтяных и газовых скважин с глубинами до 5 км с целью доизвлечения остатков углеводородов.

Схема извлечения петротермального тепла состоит в следующем. Бурятся две (или более) скважины на расстоянии порядка 1 км, между которыми на глубине более 3 км искусственно создается проницаемая зона либо методом гидроразрыва, либо путем стимулирования естественных дефектов. В последнем случае такие подходы получили название Enhanced Geothermal Systems (EGS). Через одну из скважин подается холодная вода, а через другую выходит горячая вода (t=200–350 °С), которая непосредственно поступает на тепловую электростанцию для генерации электроэнергии и нужд теплоснабжения.

Продемонстрирована техническая состоятельность петротермальных проектов, а в ряде стран приняты программы развития этого вида энергии, в основном, на уровне НИОКР с преобладающей долей бюджетного финансирования. Например, в ходе выполнения американской программы «GeoVision: Harnessing the Heat Beneath Our Feet, 2019» [https://orenei.org/apps/geovision] показано, что при КПД извлечения 1,5% ее хватит на 2000 лет, а для усовершенствованных технологий – на 20 000 лет даже без учета ее возобновления. К 2050 г. планируется достичь электрической мощности ГеоЭС в размере 60 ГВт за счет петротермальных источников. Это составит 3,7% от общей установленной мощности США в 2050 году, а по производству энергии – 8,5% всей выработки электроэнергии в США.

ГЕОТЕРМИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ



Комплексный научно-технический проект полного инновационного цикла (КНТП) «Технологии геотермальной энергетики»

Комплексный научно-технический проект полного инновационного цикла (КНТП) «Технологии геотермальной энергетики» нацелен на энерго- и ресурсосбережение в различных отраслях промышленности и коммунального хозяйства с получением значимых социально-экономических эффектов. Комплексный проект предполагает разработку и применение импортозамещающего оборудования и прорывных технологий геотермальной энергетики (на основе имеющихся и перспективных гидротермальных и петротермальных теплоисточников) для энергоснабжения различных регионов России, включая отдаленные.

Реализация комплексного проекта позволит решить научно-технические и социально-экономические задачи страны в сфере развития региональной энергетики и получить результаты мирового уровня путем разработки и внедрения инновационных технологий и продуктов в рамках направлений «Возобновляемая энергетика» и «Цифровизация и интеллектуализация систем управления в энергетике».

Гидрогеотермальная энергетика в России

ГеоЭС на сухом паре

В 1967 г. на юге Камчатки была построена первая в России ГеоЭС – Паужетская ГеоЭС мощностью 5 МВт.

Сегодня:

Камчатка:

Мутновская ГеоЭС – 50 МВт
Верхне-Мутновская ГеоЭС – 12 МВт
Паужетская ГеоЭС – 11 МВт

Курилы: 2 ГеоЭС – 2,6 + 6 МВт

Итого: **81,6 МВт**



Источник: ИТ СО РАН

которые входят в сферу компетенций Совета по приоритету 20 «б» – Энергетика.

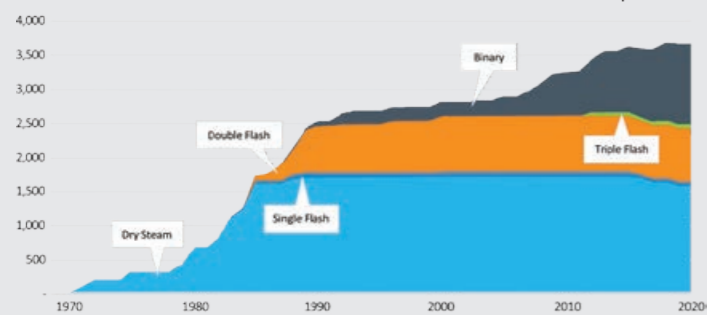
Технологии, разработка которых предполагается заявленным КНТП, являются углерод-нейтральными, отвечающими целям снижения углеродоемкости отечественной экономики и энергетики за счет повышения эффективности применения энергии (технологическое и структурное энергосбережение) и расширения использования безуглеродных, малоуглеродных и углерод-нейтральных источников энергии и энергоносителей.

Бинарная ГеоЭС



Основа: **Organic Rankine Cycle (ORC)**. Впервые в мире бинарный цикл с фреоновой турбиной на фреоне R-12 для выработки э/э из геотермального источника реализован на Паратунской ГеоЭС (ИТФ СО АН СССР, 1967).

ORC эффективен при t ≤ 400 °С и мощности 1 кВт ÷ 10 МВт. В мире в эксплуатации 600 ТЭС на ORC общей мощностью 2 ГВт. Назначение: ВИЭ, тепловые выбросы.



Наибольший прирост мощностей наблюдается для бинарных станций.

Источник: ИТ СО РАН

Опыт и достижения Института теплофизики СО РАН (инициатора КНТП) в сфере освоения геотермальной энергии

- Впервые в мире реализован бинарный цикл с фреоновой турбиной на фреоне R-12 для выработки э/э из геотермального источника на Паратунской ГеоЭС (1967–1974).
- Впервые исследован ряд теплофизических свойств перспективных рабочих тел для термодинамических циклов применительно к геотермальной энергетике и задачам энергосбережения, в том числе: CO₂, R-12, R-142, R-134a, R-236, перфторуглероды.
- Впервые в России разработан и применен на практике ряд новых конструкций пароконденсационных тепловых насосов (совместно с ЗАО «Энергия» и ВТК «Икар»).
- Впервые в России разработан и применен на практике ряд новых конструкций абсорбционных бромистолитиевых термотрансформаторов, работающих как в режиме теплового насоса, так и холодильной машины (совместно с компанией «Теплосибмаш», которая сегодня является единственным в России производителем отечественного оборудования).
- Развита основа петротермальной энергетике, начиная с совместных работ с Санкт-Петербургским горным университетом, и завершая исследованиями последних лет.
- Значимость работ по геотермальной энергетике и смежным вопросам в области энергосбережения подтверждается высшими премиями, в частности, «Глобальная энергия» (В.Е. Накоряков – 2007 г., С.В. Алексеенко – 2018 г.). Сюда же можно отнести публикацию С.В. Алексеенко «Геотермальная энергия» в 2022 г. в книге Международной Ассоциации «Глобальная энергия» под названием: «10 прорывных идей в энергетике на ближайшие 10 лет».

Сроки реализации проекта – 2023–2030 гг.

- Этап 1.** Блок работ по выполнению НИОКР
Сроки: 2023–2025 гг.
- Этап 2.** Блок работ по разработке экспериментального оборудования и технологий с их апробацией на лабораторных стендах.
Сроки: 2024–2028 гг.
- Этап 3.** Передача оборудования и технологий в серийное производство.
Сроки: 2025–2030 гг.

Срок реализации КНТП – 8 лет.

Этап 1 (2023–2025 годы) включает выполнение НИОКР.

Этап 2 (2024–2028 годы) включает разработку экспериментального оборудования и технологий с их апробацией на лабораторных стендах.

Этап 3 (2025–2030 годы) предполагает передачу оборудования и технологий в серийное производство.

При выполнении научных и опытно-конструкторских работ предполагается бюджетное финансирование с дополнением финансирования из внебюджетных источников. На стадиях разработки экспериментального оборудования и технологий, их апробации и передачи в серийное производство предполагается финансирование, в основном, из внебюджетных источников.

В числе предполагаемых участников комплексного проекта – научно-исследовательские институты Минобрнауки России, научно-образовательные организации, научные и научно-проектные организации, организации реального сектора экономики.

Совет поддержал разработку комплексного научно-технического проекта полного инновационного цикла «Технологии геотермальной энергетике», направленной на энерго- и ресурсосбережение в различных отраслях промышленности и коммунального хозяйства, развитие региональной энергетике, обеспечение энергетической безопасности регионов России, включая отдаленные, с получением значимых социально-экономических эффектов.

Реализация комплексного проекта «Технологии геотермальной энергетике» позволит решить научно-технические и социально-экономические задачи страны в сфере развития распределенной генерации и региональной энергетике, получить результаты мирового уровня путем разработки и внедрения инновационных технологий и продуктов в рамках комплексных задач «Возобновляемая энергетика» и «Цифровизация и интеллектуализация систем управления в энергетике», на решение которых направлена деятельность Совета 20«б».

Технологии, разработка которых предполагается заявленным КНТП, являются углерод-нейтральными, отвечающими целям снижения углеродоемкости отечественной экономики и энергетике и расширения использования безуглеродных, малоуглеродных и углерод-нейтральных источников энергии и энергоносителей.

Совет поручил межведомственной экспертной группе совместно с разработчиками комплексного проекта доработать его с учетом состоявшегося обсуждения и сформировать предложение о разработке КНТП в соответствии с утвержденными правилами формирования комплексных научно-технических программ и проектов.

Совет по приоритетному направлению научно-технологического развития Российской Федерации «Переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья, формирование новых источников, способов транспортировки и хранения энергии»

В соответствии с Положением о создании и функционировании Советов по приоритетным направлениям научно-технологического развития Российской Федерации, утвержденным Постановлением Правительства РФ от 17.01.2018 №16, Совет по приоритету 20 «б» проводит выявление, отбор и формирование наиболее перспективных научно-технических комплексных программ и комплексных проектов полного инновационного цикла.

Рассматриваются комплексные научно-технические программы и проекты полного инновационного цикла (КНТПИП), направленные на решение следующих основных комплексных задач приоритета:

- добыча, транспортировка и глубокая переработка углеводородного сырья;
- экологически чистая и ресурсосберегающая энергетика на базе органических топлив;
- возобновляемая энергетика;
- ядерная энергетика;
- водородная энергетика;
- хранение энергии;

- передача и распределение энергии;
- цифровизация и интеллектуализация систем управления в энергетике.

Подача заявок осуществляется в электронной форме через Портал поддержки КНТПИП kntp.ntr.ru или направить сканированную копию подписанной заявки на электронный адрес базовой организации Совета sovnet@eriras.ru

После подачи заявки в электронной форме оригинал заявки следует направить с сопроводительным письмом в Совет 20 «б» на адрес базовой организации Совета:

117186, Москва, ул. Нагорная, д. 31, корп. 2, ИНЭИ РАН

Финансирование КНТПИП осуществляется в соответствии с Правилами предоставления грантов в форме субсидий из федерального бюджета, утвержденными Постановлением Правительства РФ от 15 сентября 2020 г. № 1439.

С нормативными документами по разработке и реализации комплексных научно-технических программ и проектов можно ознакомиться на портале КНТПИП kntp.ntr.ru в разделе «Документы».

