

Заявка на разработку Комплексного научно-технического проекта полного инновационного цикла (КНТП) «Технологии геотермальной энергетики»

Алексеев Сергей Владимирович,
академик РАН, научный руководитель ИТ СО РАН
Маркович Дмитрий Маркович,
академик РАН, директор ИТ СО РАН, инициатор КНТП

Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе
Сибирского отделения Российской академии наук

Цель: Разработка и внедрение экономически выгодных и экологически чистых передовых отечественных технологий геотермальной энергетики для решения задач энерго- и теплоснабжения различных регионов России, включая отдаленные, на основе имеющихся и перспективных гидротермальных и петротермальных теплоисточников, энерго- и ресурсосбережения в различных отраслях промышленности и коммунального хозяйства с получением значимых социально-экономических эффектов.



КНТП «Технологии геотермальной энергетики»

Инициатор КНТП: **Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН.**

Предполагаемый ответственный исполнитель-координатор комплексного проекта:

Министерство энергетики Российской Федерации.

Предполагаемый соисполнитель комплексного проекта:

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Заказчики комплексного проекта: **ПАО «Русгидро» (основной).**

Комплексный проект включает в себя

7 комплексных задач.



1. Обоснование и развитие подходов к созданию новых и модернизации существующих энергоблоков **ГеоЭС** на **паро-водяных** циклах, включая развитие **топливно-геотермальных** систем.
2. Приоритетное развитие энергетических технологий на базе **бинарных циклов**, в том числе для задач энергосбережения.
3. Развитие технологий извлечения **глубинного тепла** на базе Enhanced Geothermal Systems (EGS) как самого перспективного вида геотермальной энергии.
4. Развитие технологий извлечения из термальной воды **ценных химикатов** с приоритетом на редкоземельные элементы.
5. Разработка и применение **геофизических** методов диагностики, включая развитие новых эффективных технологий **бурения**.
6. Развитие и масштабное применение геотермальных систем **теплоснабжения**, в том числе на базе **тепловых насосов**.
7. **Комплексные** подходы к использованию геотермальной энергии.

Реализация КНТП обеспечит выполнение следующих государственных проектов:

- Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности
- Социально-экономическое развитие Дальневосточного федерального округа
- Развитие Северо-Кавказского федерального округа
- Развитие науки, промышленности и технологий
- Содействие занятости населения
- Охрана окружающей среды
- Развитие энергетики
- Комфортная и безопасная среда для жизни
- Развитие атомного энергопромышленного комплекса
- Внедрение наилучших доступных технологий

Реализация Программы позволит решить научно-технические и социально-экономические задачи страны в сфере энергетики и получить результаты мирового уровня путем разработки и внедрения инновационных технологий и продуктов в рамках приоритетов, определенных **Стратегией научно-технологического развития** Российской Федерации, утверждённой Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. N 642, а именно:

- Переход к передовым **цифровым**, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта;
- Переход к экологически чистой и ресурсосберегающей **энергетике**, повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья, формирование новых источников, способов транспортировки и хранения энергии.

В процессе выполнения КНТП будут:

- Модернизированы действующие **ГеоЭС** на **Камчатке** и **Курильских островах**;
- Разработаны региональные программы **энерго- и теплоснабжения** на базе геотермальных источников в **Томской области**;
- Модернизированы геотермальные **полигоны** на территории **Северного Кавказа** для проведения комплексного испытания новых геотермальных технологий;
- Разработаны и апробированы новые типы **энергоустановок** малой и большой мощности;
- Предложены и зарегистрированы не менее **30 патентов** и «**ноу-хау**»;
- Переданы в серийное производство не менее **5 технологий** на основе разработанного импортозамещающего оборудования и процессов;
- Создано не менее **100 новых рабочих мест**;



- Разработаны типовые технологии и оборудование для устойчивой работы **паровых и водогрейных котельных** в режиме **самообеспечения** электроэнергией на тепловом потреблении;
- Созданы **оцифрованные базы данных** по существующим геотермальным месторождениям России, включая пробуренные в советский период;
- Предложены не менее двух методов **геологоразведки** геотермальных месторождений с использованием цифровых технологий;
- Решены вопросы по уменьшению **«северного завоза»** топлива для энергоснабжения отдельных отдаленных регионов России (о. Итуруп и др.) за счет создания ГеоТЭС;
- Разработаны импортозамещающие технологии получения **сырьевых материалов** из минерализованных растворов геотермальных месторождений (Республика Дагестан и другие регионы), включая производства **редкоземельных** металлов для микроэлектроники и литья для атомной и оборонной промышленности.

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

$t > 160\text{ }^{\circ}\text{C}$	→ ГеоЭС на сухом паре	(э/э)
$t > 120\text{ }^{\circ}\text{C}$	→ ГеоЭС на пароводяной смеси	(э/э)
$t > 70\text{ }^{\circ}\text{C}$	→ ГеоЭС с бинарным циклом	(э/э)
$t \sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$	→ 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 SO_4^{2-} , гидрокарбонат HCO_3^- и 3 катиона - натрий Na^+ , кальций Ca^{2+} и магний Mg^{2+} . 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.

Петротермальная энергетика

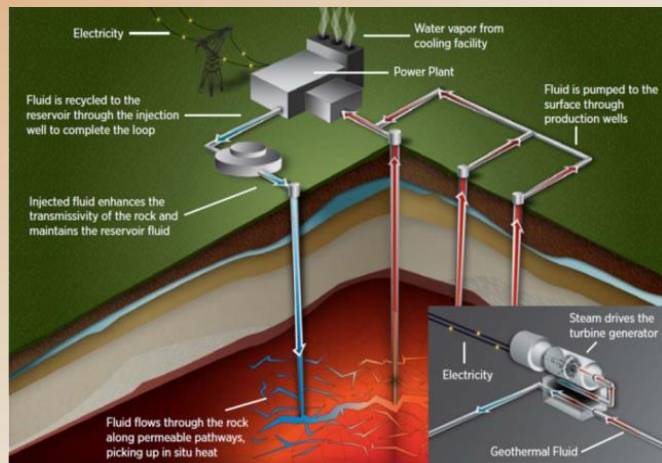


Схема утилизации глубинного тепла (EGS).

Глубина до 10 км, температура до 350°C.

Тезис: Петротермальной энергии достаточно, чтобы навсегда обеспечить человечество энергией!

Опыт США

«GeoVision: Harnessing the Heat Beneath Our Feet» (2019)

Извлекаемые запасы геотермальной энергии в США:
20 000 годовых потреблений энергии (!).

Планы:

К 2030 г. достичь цены 6 ¢/kWh за геотермальную энергию.

К 2050 г. достичь уровня 60 ГВт за счет глубинного тепла (3,7% установленной электрической мощности в США или 25% - в России) и 8,5% по производству энергии.

А также 320 ГВт по теплу.

В РФ все теплоснабжение составляет 175 ГВт.

28 млн. геотермальных тепловых насосов!

В 2020 г. в США затраты на НИОКР по глубинному теплу составили 69 млн. \$, в то время как на традиционную гидротермальную энергетику выделено 20 млн. \$, а на низкотемпературную геотермальную энергетику (куда входят бинарные станции) – всего 15 млн. \$.



Обоснование актуальности проекта

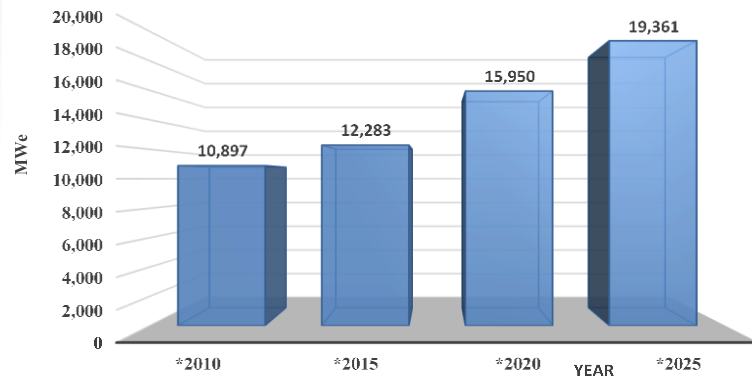
12

	Страна	Установленн ая мощность, МВт(э)	Энергия, ГВт ч/год	Доля энергии в энергобалансе страны, %
1	США	3 700	18 366	0,4%
2	Индонезия	2 289	15 315	
3	Филиппины	1 918	9 893	
4	Турция	1 549	8 168	
10	Исландия	755	6 010	30%
14	Россия	82	441	
	...			
	Всего	15 950	95 098	

Установленная электрическая **мощность** и производство **энергии** на ГеоЭС в странах мира в 2020 г.

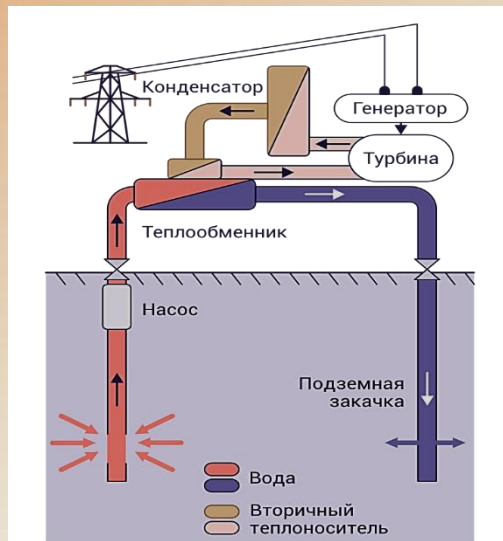
Доля геотермальной энергии в установленной мощности ВИЭ – **0,6%!**

Современное состояние

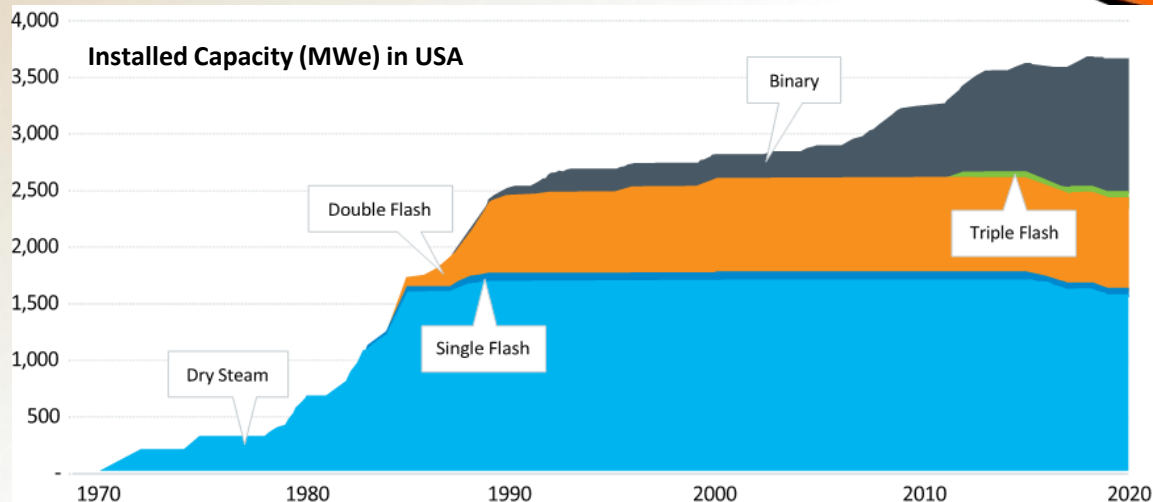


Установленная электрическая **мощность** геотермальных станций в мире с 2010 по 2025 гг.

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).



Наибольший прирост мощностей наблюдается для **бинарных** станций.

ORC эффективен при $t \leq 400^\circ\text{C}$ и мощности $1 \text{ кВт} \div 10 \text{ МВт}$.
 В мире в эксплуатации **600 ТЭС** на **ORC** общей мощностью **2 ГВт**.
 Назначение: **ВИЭ, тепловые выбросы**.

Томская обл.: $t \leq 85\text{ }^{\circ}\text{C}$

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



Паужетская ГеоЭС

Россия обладает огромными запасами геотермального тепла, энергия которого потенциально в **8 - 12** раз превышает потенциал всех их углеводородных видов топлива.

При оптимальном развитии эти геотермальные ресурсы могли бы радикально изменить энергетический баланс страны.

G. Hutterer (2020)

Бинарная ГеоЭС (*в России нет!*)

Паратунская ГеоЭС (1967 - 1974)

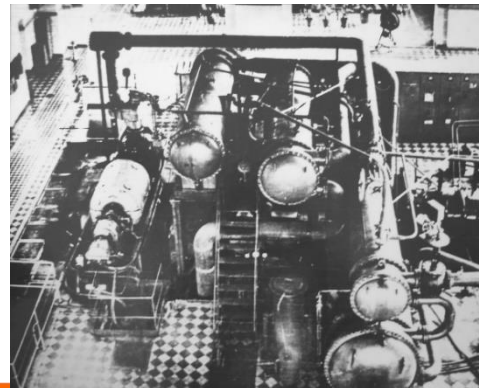
Разработчик **ИТФ СО АН СССР**

Авторы технологии: *С.С. Кутателадзе, Л.М. Розенфельд (1962)*

Исполнители: *Петин Ю.М., Москвичева В.Н.*

Впервые в мире применен бинарный цикл с **фреоновой** турбиной на фреоне **R-12** для выработки э/э из геотермального источника:

Мощность **815 кВт**, $t_{\text{вода}} = 80^\circ\text{C}$.



Выводы и предложения

Геотермальная энергия – самый экологически чистый и практически неисчерпаемый источник энергии. Для ее масштабного применения, особенно в свете перехода на «зеленую» энергетику, необходимо решение следующих ключевых задач:

- Преимущественное развитие **бинарных циклов**, в том числе для задач энергосбережения.
- Освоение **глубинного тепла** на базе **EGS**, как самого перспективного вида геотермальной энергии.
- Развитие и масштабное применение геотермальных **тепловых насосов**.
- Извлечение из термальной воды **ценных химикатов**, особенно редкоземельных элементов.
- Развитие новых эффективных технологий **бурения**, которые могут иметь революционное значение не только для геотермальной энергетики, но и многих других отраслей промышленности.
- Разработка и применение **геофизических** методов диагностики.

Для реализации указанных задач необходимо:

1. Разработать **дорожную карту** развития геотермальной и петротермальной энергетики в России.
2. В кратчайшие сроки представить в Совет по приоритетному направлению «Энергетика» заявку на Комплексный научно-технический проект (**КНТП**) полного инновационного цикла: **«Технологии геотермальной энергетики»**.

Научно-исследовательские институты Минобрнауки:

ИТ СО РАН, ИВМиМГ СО РАН, ИНГГ СО РАН, ИПГВЭ ОИВТ РАН, ИХТТМ СО РАН, ИПУ РАН, ИСЭМ СО РАН, ИЭОПП СО РАН, Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (ИВиС ДВО РАН), Институт геоэкологии РАН, Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского РАН

Университеты: ГГНТУ им. М.Д. Миллионщикова, Сколтех, ТПУ, МЭИ, НГТУ-НЭТИ, СПбГУ, Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ)

Научно-производственные организации: ЗАО НПВП «Турбокон», ООО «Геотерм –М», ООО «ОКБ Теплосибмаш»

Промышленные предприятия: ПАО «Русгидро», ПАО «Силовые машины», АО Калужский турбинный завод, ПАО «Объединённая двигателестроительная корпорация» (АО «ОДК»), ПАО «Газпром», ПАО «Газпромэнергохолдинг», ПАО «Газпром нефть», АО «Зарубежнефть», ПАО «Татнефть», ПАО «Интер РАО», Госкорпорация «Росатом», ООО «Красцветмет», ООО «Геоэкопром», ООО «НПО» Центротех», предприятия Сибирской генерирующей компании, предприятия «Сахалинэнерго», предприятия «Камчатэнерго», ООО «Промышленные компоненты КАМАЗ»



1. 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).
2. 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.
3. Впервые в России разработан и применен на практике ряд новых конструкций **парокомпрессионных тепловых насосов** (совместно с ЗАО «Энергия» и ВТК «Икар»).
4. 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).
5. Развиты основы **петротермальной** энергетике, начиная с совместных работ с Санкт-Петербургским горным университетом и завершая исследованиями последних лет.
6. Значимость работ по геотермальной энергетике и смежным вопросам в области энергосбережения подтверждается престижными **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**».

- ООО «**Геотерм-ЭМ**» (Москва), ЗАО НПВП «**Турбокон**» (Калуга) имеют многолетний опыт в области создания наземной части ГеоЭС.
- Сколковский институт науки и технологий (**Сколтех**, Москва) располагает современной аппаратурно-методической базой в области геомеханики, петрофизики и геотермии.
- **Институт проблем геотермии и возобновляемой энергетики** – филиал ОИВТ РАН (Махачкала) является единственным в стране специализированным научным институтом в сфере геотермальной энергетики. Ведутся исследования по комплексному использованию низкопотенциальных термальных вод, включая экспериментальное определение тепловых свойств пород при пластовых условиях и методы извлечения ценных веществ из рассолов.
- **Грозненский государственный нефтяной технический университет им. акад. М.Д. Миллионщикова** (ГГНТУ, Грозный) располагает единственной в стране циркуляционной системой добычи геотермальной энергии.
- ПАО «**Газпром нефть**» и **НТПУ** (Томск) рассматривают возможности организации полного цикла выработки электроэнергии с помощью геотермальных электростанций модульного типа малой мощности.
- **НГТУ – НЭТИ** (Новосибирск) является разработчиком концепции «умных сетей» для систем распределенной генерации.

Обоснование и развитие подходов к созданию новых и модернизации существующих энергоблоков ГеоЭС на паро-водяных циклах, включая развитие топливно-геотермальных систем

Цель: 1. Повышение мощности и эффективности действующих российских энергоблоков ГеоЭС.
2. Разработка и производство оборудования для распределенной генерации.

Результаты выполнения задачи:

- Производство новых силовых блоков электрогенерации для действующих российских ГеоЭС с целью дополнительной выработки энергии.
- Модернизация действующих российских энергоблоков ГеоЭС.
- Энергомодули с воздушными системами охлаждения.
- Энергоустановки с паросиловыми блоками на основе паровинтовых расширительных машин (ПВМ).

Участники проекта: ИТ СО РАН, ДВФУ, ООО «Геотерм-М», ЗАО НПВП «Турбокон», ПАО «Силовые машины», ООО «Промышленные компоненты КАМАЗ».

Научно-технический задел:

ЗАО НПВП «Турбокон». Исполнитель ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020» годы по теме «Разработка и экспериментальная апробация научно-технических решений по созданию конкурентоспособных модульных энергоустановок на геотермальных источниках в регионах с ограниченными водными ресурсами».

ООО «Геотерм-М». Основной российский разработчик технологий ГеоЭС.

ООО «Промышленные компоненты КАМАЗ». Паровая винтовая машина (ПВМ) мощностью до 1,0 МВт - российская инновационная разработка в сфере комплексного повышения энергетической эффективности и ресурсосбережения, прошедшая промышленную апробацию. Применение таких энергоагрегатов позволяет использовать потенциал малодебитных геотермальных скважин, а также переводить отопительные котельные ЖКХ и котельные предприятий в режим мини-ТЭЦ с выработкой электроэнергии, что повышает эффективность и безопасность систем теплоснабжения. На основные элементы технологии получены патенты РФ, оборудование обладает значительным экспортным потенциалом. Проводятся НИОКР по разработке ПВМ на базе ОЦР рабочих циклов.

Приоритетное развитие энергетических технологий на базе бинарных циклов, в том числе для задач энергосбережения

Цель: Создание российского сегмента электрогенерирующего оборудования на основе ОЦР – цикла с экологически чистыми рабочими телами для применения в геотермальной энергетике и решения задач энергосбережения в промышленности и коммунальном хозяйстве Российской Федерации.

Результаты выполнения задачи:

- Создание серийного производства и вывод на рынок блочно-модульных утилизационных тепловых энергокомплексов (УТЭК) электрической мощностью 0,5 - 8 МВт для производства электроэнергии в органическом цикле Ренкина.
- Дополнительное увеличение электрической мощности действующих ГеоЭС прямого цикла на Камчатке (Паужетская, Мутновская и Верхне-Мутновская ГеоЭС) и повышение эффективности использования ресурсов геотермальных месторождений.
- Серийное паросиловое оборудование на базе лопаточных паровых турбин и машин объемного расширения для создание ГеоЭС на базе геотермальных источников с температурой 70°C и более.
- Серийное оборудование на базе паровинтовых расширительных машин (ПВМ) с низкикипящими рабочими телами для автономного электроснабжения промышленных и коммунальных котельных.
- Геотермальные станции мощностью до 2,5 МВт на базе пробуренных нефтяных скважин позволят отказаться от дизельных генераторов в отдаленных населенных пунктах Томской области (в России действует около 180 тыс. нефтяных и нефтегазовых скважин, включая около 30 тыс. заброшенных скважин).

Участники проекта: ИТ СО РАН, ИПГВЭ ОИВТ РАН, ГГНТУ им. М.Д. Миллионщикова, ЗАО НПВП «Турбокон», МЭИ, НТПУ, СПбГУ, ПАО «Силовые машины», АО «ОДК», ООО «Промышленные компоненты КАМАЗ», ООО «Геотерм-М», АО «Красный котельщик», ООО «Газпромнефть».

Развитие технологий извлечения глубинного тепла на базе Enhanced Geothermal Systems (EGS) как самого перспективного вида геотермальной энергии

Цели: 1. Освоение технологий извлечения глубинного тепла сухих пород.

2. Комплексное обоснование использования петротермального тепла для нужд возобновляемой энергетики и геотермального теплоснабжения на территории Российской Федерации, включая территории с вечномерзлотными грунтами.

Результаты выполнения задачи:

- Технологии бурения и обустройства глубинных (3 - 10 км) геотермальных скважин.
- Технология применения «микроскважин» с диаметром в начале - 120 мм, в конце - 50 мм и высокой скоростью бурения - до 60 м/ч (1,5 км/сутки) и вдоль них по глубине геофонов для томографического мониторинга петротермальных скважин.
- Апробация технологий для бурения «микроскважин» с выдачей практических рекомендаций (резонансное бурение (resonant drilling), разрушение абразивной струей воды (high pressure fluid enhanced cutting), высокоскоростное бурение (high-speed drilling, 5 000 об/мин), лазерное (laser drilling), микроволновое (microwave drilling) и др.)
- Технология бурения петротермальных скважин в зоне, прилегающей к кратерам вулканов для получения флюидов критических и сверхкритических параметров.
- Атлас петротермальных ресурсов России.
- Оценка запасов и перечень первоочередных объектов на территории РФ для промышленного освоения запасов петротермального тепла с обоснованием их технико-экономической эффективности.
- Рекомендации по освоению петротермального тепла на территориях с вечномерзлотными грунтами.

Участники проекта: ИТ СО РАН, ИНГГ СО РАН, ИВиС ДВО РАН, АО «Зарубежнефть», Сколтех.

Научно-технический задел: Накопленный опыт изложен в публикации С.В. Алексеенко «Геотермальная энергия» (в книге Международной Ассоциации «Глобальная энергия»: «10 прорывных идей в энергетике на ближайшие 10 лет», 2022 г.).

Развитие технологий извлечения из термальной воды ценных химикатов с приоритетом на редкоземельные элементы

Цель: Разработка промышленного оборудования и технологий для импортозамещения сырьевых материалов на основе подземных термальных вод для энергетики, авиации, электронной и оборонной промышленности, нефтехимии, агропромышленного комплекса, гидрометаллургии и бальнеологии.

Результаты выполнения задачи:

- Энергоэффективные аппараты мгновенного вскипания для глубокого упаривания термальной воды, содержащей ценные химические компоненты с получением высококонцентрированных водных растворов с редкоземельными элементами.
- Инновационная технология селективного извлечения ценных сырьевых компонентов для электронной промышленности из сложных по исходному составу термальных слабоминерализованных растворов.
- Технология получения высококонцентрированных литиеносных термальных рассолов для дальнейшего получения хлорида лития или карбоната лития, как импортозамещающего сырья для производства лития для атомной и оборонной промышленности.
- Получение концентрированных лечебных рассолов солей для бальнеологии.
- Получение ценных пищевых продуктов и минеральных добавок.

Участники проекта: ИТ СО РАН, «Росатом», АО «НЗХК», ГГНТУ им. М.Д. Миллионщикова, ИПГВЭ ОИВТ РАН, ИХТТМ СО РАН, «Теплосибмаш».

Научно-технический задел: Аппараты мгновенного вскипания (ИТ СО РАН, «Теплосибмаш»); производство лития, литиевых сплавов и солей (АО «НЗХК»); лабораторные установки и технологии извлечения лития из термальных рассолов (ИПГВЭ ОИВТ РАН); технологии извлечения лития из рассолов соленых озер (ИХТТМ СО РАН).

Разработка и применение геофизических методов диагностики, включая развитие новых эффективных технологий бурения

Цель: Разработка и применение новых геофизических методов диагностики существующих и перспективных геотермальных месторождений.

Результаты выполнения задачи:

- Программы поиска и разведки геотермальных (гидротермальных и петротермальных) месторождений, которые должны быть сформированы до проектирования и строительства геотермальных скважин и наземной инфраструктуры.
- Новые методы диагностики с использованием дистанционных цифровых средств термометрии и эхолокации подземных горизонтов для моделирования гидротермальных и петротермальных месторождений.
- Технология скоростного бурения «микроскважин» для разведки и мониторинга геотермальных месторождений.
- Технологии быстрого бурения промысловых скважин с применением новых материалов для их проходки и обустройства.
- Обновленный атлас геотермальных месторождений России.
- Технологии определения исходных данных о геотермических (и петрофизических) характеристиках, включающие методику прогноза равновесных карт перспективности на основе комплекса критериев для определенной технологической схемы разработки с учетом прямого, бинарного или комбинированного циклов выработки электроэнергии.

Участники проекта: ИТ СО РАН, ИВМиМГ СО РАН, ИНГГ СО РАН, Сколтех, ИПГВЭ ОИВТ РАН, ГГНТУ им. М.Д. Миллионщикова, ИВиС ДВО РАН.

Развитие и масштабное применение геотермальных систем теплоснабжения, в том числе на базе тепловых насосов

Цель: Разработка и реализация технологий прямого и теплонасосного теплоснабжения на основе геотермальных источников различного температурного потенциала.

Результаты выполнения задачи:

- Экономически обоснованные региональные программы теплоснабжения отдельных поселений и предприятий на базе термальных вод различного температурного потенциала:
 - субтермальных (до 40°C) слабоминерализованных (до 3 г/л) подземных вод питьевого качества в Новосибирской области с применением российских тепловых насосов парокомпрессионного и абсорбционного типов теплопроизводительностью до 1,0 МВт в сочетании с повышением эффективности хозяйственно-питьевого водоснабжения;
 - сильноминерализованных (свыше 20 г/л), а также забаластированных нефтью подземных вод среднего температурного потенциала (до 100°C) в Томской и Омской областях, а также в регионах Северного Кавказа и Крыма;
 - пилотная экологически чистая система теплонасосного теплоснабжения суммарной мощностью 15 МВт в составе МУПЭС г. Дивногорска Красноярского края на базе воды с предельно низкой температурой незамерзающей реки Енисей;
- Физико -математическая модель геотермального циркуляционного контура для решения задач прямого и теплонасосного теплоснабжения различных потребителей с ее валидацией на натурном стенде ГГНТУ им. М.Д. Миллионщикова.
- Апробация новой технологии применения абсорбционных термотрансформаторов для повышения термического потенциала низкотемпературного тепла геотермальных скважин с 50 - 70°C до 90 - 100°C .
- Парокомпрессионные тепловые насосы нового поколения российского производства с рабочими циклами на природных рабочих телах (CO₂, NH₃, изобутан и др.) и системой цифрового дистанционного управления и удаленного мониторинга.
- Лабораторные перенастраиваемые на различные режимы работы стенды тепловых насосов парокомпрессионного и абсорбционного типов мощностью до 10 кВт.

Участники проекта: ИТ СО РАН, «Теплосибмаш», ТПУ, ГГНТУ им. М.Д. Миллионщикова, ДВФУ.

Научно-технический задел: 30-летний опыт разработки и создания тепловых насосов на фреонах, абсорбционные тепловые насосы и холодильные машины, за разработку и внедрение которых присуждена в 2013 году Премия Правительства РФ.

Комплексные подходы к использованию геотермальной энергии

- Цели:**
1. Повышение эффективности использования сырьевых и термальных ресурсов геотермальных месторождений.
 2. Применение результатов геотермальных технологий в промышленности и коммунальном хозяйстве страны с получением значимых социально-экономических эффектов.
 3. Реализация экспортного потенциала оборудования и технологий геотермальной энергетики.

Результаты выполнения задачи:

- Изменение структуры топливно-энергетического баланса регионов с увеличением доли возобновляемой энергетики за счет реализации геотермальных технологий.
- Экспорт паросиловых геотермальных машин российского производства в страны со значительным потенциалом геотермальных ресурсов.
- Автономное электроснабжение паровых и водогрейных котельных на тепловом обеспечении в промышленности и ЖКХ, позволяющее повысить общую надежность теплоснабжения.
- Комбинированные системы выработки электроэнергии и тепла, сочетающие оптимальное сочетание использования геотермальных ресурсов и традиционных органических топлив.
- Новые технологии гидрометаллургии для извлечения из высокотемпературных растворов редкоземельных металлов с одновременной выработкой для этого электроэнергии.
- Доизвлечение остатков нефти из малодебитных скважин месторождений нефти с энергоснабжением технологий ее добычи за счет создания автономных ГеоЭС малой мощности на базе термического потенциала пластовых вод.
- Производство водорода в геотермальных регионах при наличии избытка электроэнергии.
- Модели управления полностью или частично изолированными микросетями с автономными распределенными источниками электрогенерации (технологии «микрогрид»).

Участники проекта: ИТ СО РАН, ЗАО НПВП «Турбокон», ООО «Геотерм-М», ТПУ, НГТУ-НЭТИ, ИНГГ СО РАН, ИПГВЭ ОИВТ РАН, ИХТТМ СО РАН, ИПУ РАН, ИСЭМ СО РАН, ИЭОПП СО РАН, ПАО «Русгидро», ПАО «Силовые машины», АО Калужский турбинный завод, ПАО «ОДК», ПАО «Газпром», ПАО «Газпромэнергохолдинг», ПАО «Газпром нефть», ПАО «Татнефть», ПАО «Интер РАО», Госкорпорация «Росатом», ООО «Красцветмет», ООО «Геоэкопром», ООО «Геотерм ЭМ», ООО «НПО» Центротех», предприятия Сибирской генерирующей компании, «Сахалинэнерго», «Камчатэнерго».

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.

Объем финансирования на весь период 2023-2030 гг.
составит **15 000 млн. рублей:**

- ❖ бюджетное финансирование **3 000 млн. рублей,**
- ❖ внебюджетное – **12 000 млн. рублей**



Объем финансирования КНТП

29

№	Этап	Стоимость млн. руб.	Источники финансирования	В том числе по этапам		
				1	2	3
1	Проведение НИОКР	3 000	70% -федеральный бюджет	2 100	-	-
			30% - внебюджетные источники	900	-	-
2	Разработка экспериментального оборудования и технологий с их апробацией на лабораторных стендах	8 000	10% - федеральный бюджет	-	800	-
			90 % - внебюджетные источники	-	7 200	-
3	Передача оборудования и технологий в серийное производство	4 000	2,5 % - федеральный бюджет	-	-	100
			97,5% - внебюджетные источники	-	-	3 900
Итого		15 000	20% - федеральный бюджет	2 100	800	100
			80% -внебюджетные источники	900	7 200	3 900
				3 000	8 000	4 000



Оценка рыночных перспектив КНТП

30

№	Наименование	Перспективный потребитель	Область применения
1	Бинарные ГеоЭС средней и высокой мощности, утилизирующие средне- и высокопотенциальные геотермальные источники, с применением ОЦР	Крупные населенные пункты; промышленные центры; электросетевые компании	Автономная генерация экологически чистой электро- и тепловой энергии для нужд крупных промышленных и социальных объектов
2	Модернизация построенных ГеоЭС с помощью установки блоков ОЦР	Предприятия «Сахалинэнерго», «Камчатэнерго»	Установка блоков ОЦР для повышения установленной мощности ГеоЭС
3	Модернизация построенных ГТЭС и ГПА с помощью блоков ОЦР	Операторы газотурбинных электростанций; газотранспортные и газодобывающие компании	Модернизация существующего парка ГТЭС и ГПА с целью повышения их энергоэффективности и установленной мощности электрогенерации
4	ГеоЭС малой мощности, утилизирующие низкотемпературные геотермальные источники с помощью ОЦР	Нефтегазовые компании, промышленные организации, осуществляющие деятельность в отдаленных районах; отдаленные населенные пункты	Автономная генерация экологически чистой электро- и тепловой энергии для нужд промысловых, других промышленных объектов и социальных объектов в удаленных районах
5	Создание автономных энергоисточников на основе ПВМ	Промышленные предприятия, предприятия ЖКХ	Автономное электроснабжения паровых и водогрейных котельных
6	Геотермальные тепловые насосы	Предприятия ЖКХ, промышленные предприятия	Создание экологически чистых систем теплоснабжения
7	Извлечение редкоземельных элементов из подземных растворов	Атомная промышленность, производство микроэлектроники, оборонная промышленность	Полное импортозамещение сырья для получения лития и элементов для микроэлектроники



Риски выполнения КНТП

31

№	РИСКИ	ПУТИ УМЕНЬШЕНИЯ
1.	<i>Риски, связанные с большими капитальными затратами на разведку и бурение скважин геотермальных месторождений</i>	<ul style="list-style-type: none">▪ Изучение мирового и отечественного опыта бурения промысловых скважин, в т.ч. высокоскоростного и с применением новых материалов;▪ Внедрение в практику технологий «микроскважинного» разведочного бурения с установкой средств термо- и эхолокации для дистанционного мониторинга данных с использованием цифровых технологий;
2.	<i>Риски завышения мощности проектируемых ГеоЭС</i>	<ul style="list-style-type: none">▪ использование возможностей существующих геотермальных скважин и данных по запасам советского периода с их оцифровкой и составлением единой базы в рамках отдельных территорий и страны в целом;▪ внедрение в практику технологий «микроскважинного» разведочного бурения с установкой средств термо- и эхолокации для дистанционного мониторинга данных с использованием цифровых технологий;▪ использование современных и перспективных технологий дистанционной геологоразведки, с широким применением цифровых технологий;
3.	<i>Риски разбалансировки выработки электроэнергии и ее сезонного и суточного потребления в системе распределенной генерации.</i>	<ul style="list-style-type: none">▪ введение в практику проектирования и строительства ГеоЭС и геотермальных энергосистем микрогридов (<i>microgrid</i>) для достижения оптимального по стоимости и автономности энергоснабжения;▪ выработка водорода, как экологически чистого источника накопления энергии.



Риски выполнения КНТП (продолжение)

32

№	РИСКИ	ПУТИ УМЕНЬШЕНИЯ
4.	<i>Управление проектами ГеоЭС и других геотермальных технологий</i>	<ul style="list-style-type: none">■ использование современных методов сквозного (от научной проработки до утилизации оборудования) управления инвестиционными проектами в энергетике, в т.ч. с оперативной оценкой ЧДД на основе отечественной методики непрерывных денежных потоков;■ диверсификация продуктов геотермальных технологий для применения в смежных областях промышленности и ЖКХ (технологии геологоразведки и эффективной эксплуатации нефтяных и газовых месторождений, производство водорода, производство редкоземельных металлов, утилизация тепловых стоков промпредприятий, организация систем теплоснабжения на основе тепловых насосов и др.).
5.	<i>Технологические риски.</i>	<ul style="list-style-type: none">■ высокий уровень предварительно выполненных НИОКР в рамках основных направлений работ;■ высокий квалификационный уровень и многолетний опыт работы участников КНТП в области геотермальной энергетики;■ наличие стендов на геотермальных месторождениях Северного Кавказа для проведения испытаний макетов оборудования и геотермальных технологий;■ освоенная блочно-модульная поставка оборудования с проведением заводских испытаний на стендах;■ высокая степень автоматизации оборудования;■ системы дистанционного управления удаленными энергообъектами на основе цифровых технологий;■ обучение персонала безопасным методам работы и ремонта оборудования.



Фумаролы вулкана Эбеко (о. Парамушир)