

Разработка научно-технических решений, направленных на создание эффективных энергоисточников на основе использования глубинной тепловой энергии недр

Работа проведена в 2017 г. в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 гг.» в период с 01 января 2017г. по 31 декабря 2017г.

Соглашение о предоставлении субсидии № 14.577.21.0192 от 27 октября 2015г. (Этап 3)

Научный руководитель проекта: главный научный сотрудник НЦ «Износостойкость», д.т.н. Волков Александр Викторович.

Ответственный исполнитель: старший научный сотрудник НЦ «Износостойкость», к.т.н. Григорьев Сергей Владимирович.

1. Цель прикладного научного исследования и экспериментальной разработки

Повышение энергетической безопасности автономных потребителей тепловой и электрической энергии на основе создания энергоисточников с использованием петротермальной тепловой энергии недр Земли, функционирующих с высокой эффективностью на протяжении 25 лет и более.

2. Основные результаты ПНИЭР

В 2017 году в рамках 3 этапа в период с 01 января 2017г. по 31 декабря 2017г. выполнены следующие работы:

- Изготовлен макет односкважинной системы съема глубинной тепловой энергии недр Земли.
- разработаны программа и методика проведения испытаний макета односкважинной системы съема глубинной тепловой энергии недр Земли.
- Проведены испытания макета односкважинной системы съема глубинной тепловой энергии недр Земли.
- Проведены исследования режимов работы односкважинной системы съема глубинной тепловой энергии недр Земли на макете:
 - исследование влияния неравномерности геотермического градиента по длине односкважинной системы съема глубинной тепловой энергии недр Земли на ее эффективность;
 - исследование влияния переменного и постоянного диаметров кольцевого зазора на эффективность односкважинной системы съема глубинной тепловой энергии недр Земли.
- Разработана математическая модель работы односкважинной системы съема и транспортировки глубинной тепловой энергии недр Земли на поверхность с учетом реального процесса снижения температурного потенциала пород недр на основе полученных результатов экспериментальных исследований.
- Выявлены оптимальные режимные параметры использования односкважинной системы съема и транспортировки глубинной тепловой энергии недр Земли для эффективного энергоснабжения удаленных и обособленных потребителей.
- Даны обобщение, анализ и сравнение результатов теоретических и экспериментальных исследований.
- Выполнена адаптация тепловых схем энергоисточников, обеспечивающих комбинированное тепло-, электро- и холодоснабжение потребителей для продолжительного использования односкважинной системы съема глубинной тепловой энергии недр Земли на основе результатов проведенных экспериментальных исследований.
- Разработан проект технического задания на проведение ОКР по теме: «Создание энергоисточника на основе односкважинной системы съема глубинной тепловой энергии недр Земли мощностью 1 МВт».

- Разработаны предложения и рекомендации по возможности использования результатов проведенных ПНИЭР в реальном секторе.
- Проведена технико-экономическая оценка рыночного потенциала полученных результатов;
- Проведено обобщение и оценка результатов выполненных работ.
- Разработана программа для ЭВМ на основе математической модели односкважинной системы съема и транспортировки глубинной тепловой энергии недр Земли на поверхность с учетом реального процесса снижения температурного потенциала пород недр на основе полученных результатов экспериментальных исследований.
- Проведены маркетинговые исследования для дальнейшей коммерциализации технологии извлечения глубинной тепловой энергии недр Земли.
- Разработаны технические требования и предложения по разработке, производству и эксплуатации односкважинной системы съема глубинной тепловой энергии недр Земли с учетом технологических возможностей и особенностей индустриального партнера - организации реального сектора экономики.
- Принято участие в мероприятиях, направленных на освещение и популяризацию промежуточных и окончательных результатов ПНИЭР (конференции, семинары, симпозиумы, выставки и т.п., в том числе, международные).
- Проведены работы по верификации параметров исследований режимов работы односкважинной системы съема глубинной тепловой энергии недр Земли с задействованием собственного научно-исследовательского оборудования Получателя субсидии.

При выполнении работ были получены следующие результаты:

- 1) Изготовлен макет односкважинной системы съема глубинной тепловой энергии недр Земли, включающий систему транспорта теплоносителя в масштабе 1:20, выполненную в двух вариантах: с переменным и постоянным диаметрами внутренней трубы.
- 2) Разработаны программа и методика проведения испытаний макета односкважинной системы съема глубинной тепловой энергии недр Земли, включающие следующее: определение конструктивных характеристик макета (испытания по определению масштаба выполнения макета и количеству участков с независимым подводом теплоты), испытание на скорость движения теплоносителя в односкважинной системе съема глубинной тепловой энергии недр Земли, испытание на поддержание температуры наружной поверхности системы транспорта теплоносителя, испытание возможности создания геотермического градиента по длине односкважинной системы съема глубинной тепловой энергии недр Земли.
- 3) Проведены испытания макета односкважинной системы съема глубинной тепловой энергии недр Земли, которые подтвердили полное соответствие изготовленного макета требованиям Технического задания.
- 4) Проведены исследования режимов работы односкважинной системы съема глубинной тепловой энергии недр Земли на макете, вследствие чего было выявлено:
 - неравномерный геотермический градиент по длине односкважинной системы съема оказывает существенное влияние на температуру теплоносителя на выходе из системы. Отклонение в более высокие значения геотермического градиента в верхней части односкважинной системы съема, по сравнению с аналогичными значениями в нижней части, позволяет получить более высокие значения температуры теплоносителя на выходе из системы;
 - темпы снижения температуры теплоносителя как в нижней части односкважинной системы съема, так и на выходе из системы, при увеличении скорости движения теплоносителя возрастают;
 - наиболее предпочтительным является вариант конструкции односкважинной системы съема и транспортировки глубинной тепловой энергии недр типа «труба в трубе» не с равными между собой площадями поперечных сечений внешнего кольцевого и внутреннего каналов, а существенно (в разы) отличными друг от друга.
- 5) Разработана математическая модель работы односкважинной системы съема и транспортировки глубинной тепловой энергии недр Земли на поверхность с учетом реального процесса снижения температурного потенциала пород недр на основе полученных результатов экспериментальных исследований, вследствие чего установлено, что через 25 лет функционирования односкважинной

системы съема при общем диапазоне температур по глубине грунта от 30°C до 80°C, при скоростях теплоносителя 0,25, 0,75 и 1,5 м/с, и глубинах 700-1000 м радиус температурного влияния увеличится до 55, 60 и 65 м, соответственно.

6) Выполнено выявление оптимальных режимных параметров использования односкважинной системы съема и транспортировки глубинной тепловой энергии недр Земли для эффективного энергоснабжения удаленных и обособленных потребителей, вследствие чего установлено:

- необходимо поддерживать невысокие скорости движения теплоносителя в односкважинной системе съема, прежде всего во внешнем кольцевом зазоре (не более 0,3 м/с);
- при общем диапазоне изменения температур по глубине грунта от 30°C до 80°C применение высокоэффективной экранно-вакуумной теплоизоляции позволяет повысить температуру теплоносителя на выходе из односкважинной системы съема с постоянным диаметром подъемной трубы до 78°C (температура теплоносителя на входе в систему равна 30°C), т.е. достичь 96% эффективности;
- использование односкважинной системы съема с внутренней подъемной трубой постоянного диаметра позволяет снизить гидравлическое сопротивление на 20% по сравнению с внутренней колонной труб переменного диаметра.

7) Выполнено обобщение, анализ и сравнение результатов теоретических и экспериментальных исследований, вследствие чего выявлено, что разработанная математическая модель односкважинной системы съема и транспортировки глубинной тепловой энергии недр Земли позволяет с достаточно высокой точностью выполнять расчет системы, что подтверждается сопоставлением экспериментальных и расчетных данных.

8) Выполнена адаптация тепловых схем энергоисточников, обеспечивающих комбинированное тепло-, электро- и холодоснабжение потребителей для продолжительного использования односкважинной системы съема глубинной тепловой энергии недр Земли на основе результатов проведенных экспериментальных исследований, вследствие чего установлено:

- наиболее эффективными низкокипящими рабочими веществами для использования в теплонасосных установках для теплоснабжения автономных потребителей являются фреоны R141b, R245fa, R113, R245ca. При этом к.п.д. ТНУ составляет до 46 % при температуре теплоносителя на выходе из конденсатора к потребителю 80°C;
- с учетом снижения температуры теплоносителя на выходе из односкважинной системы съема теплоты недр вследствие процесса захлаживания околоскважинных пород Земли наиболее равномерную эффективность турбины на основе низкокипящих рабочих тел в диапазоне от 80 до 200°C обеспечивают фреоны R11, R113 и изобутан;
- водоаммиачная холодильная машина позволяет варьировать температуру горячего теплоносителя в значительно большем диапазоне с сохранением постоянной холодильной мощности, что позволяет использовать её для холодоснабжения автономных потребителей на основе односкважинной системы съема с учетом снижения температуры теплоносителя с течением времени.

9) Выполнены работы по верификации параметров исследований режимов работы односкважинной системы съема глубинной тепловой энергии недр Земли с задействованием собственного научно-исследовательского оборудования Получателя субсидии.

В результате проведенных дополнительных патентных исследований установлено, что объект исследования обладает патентной чистотой, так как патентов нарушающих права разработчиков в исследуемой области не выявлено

Результаты проекта, полученные на отчетном этапе, полностью соответствуют требованиям Технического задания и Плана-графика исполнения обязательств.

Оценка элементов новизны научных, конструкторских и технологических решений, информация о полученных на отчетном этапе охранных способностях РИД

Создан уникальный масштабный макет односкважинной системы съема и транспортировки глубинной тепловой энергии недр Земли. С использованием созданного макета проведены исследования режимов работы односкважинной системы съема.

Получены следующие охраноспособные результаты интеллектуальной деятельности:

Изобретение патент № 2623824 от 29 июня 2017г. "Установка для определения темпов изменения температуры пород недр, РФ.

Свидетельство программы ЭВМ № 2017619420 от 24 августа 2017г. "Программа измерительного модуля экспериментального стенда по моделированию процесса захолаживания околоскважинных пород недр Земли", РФ.

Свидетельство программы ЭВМ №2017619595 от 28.08.2017г. "Программа для анализа результатов экспериментальных исследований процесса захолаживания околоскважинных пород недр Земли", РФ.

Оценка соответствия полученных результатов техническим требованиям к выполняемому проекту и перспектив продолжения работ по проекту

Полученные результаты полностью соответствуют техническим требованиям к выполняемому проекту. На основании полученных результатов экспериментальных расчётных исследований односкважинной системы съема и транспортировки глубинной тепловой энергии недр Земли выявлено, что подобного рода системы возможно эксплуатировать для тепло-, электро- и холодоснабжения на протяжении 25 лет и более. На основании результатов оптимизация режимов функционирования односкважинной системы съема глубинной тепловой энергии недр Земли с использованием результатов экспериментальных исследований выявлено, что необходимо поддерживать невысокие скорости движения теплоносителя в односкважинной системе съема, прежде всего во внешнем кольцевом зазоре (не более 0,3 м/с), при теплоизолированной внутренней подъемной трубе.

В целях коммерциализации (практического использования) результатов интеллектуальной (научно-технической) деятельности, полученных в рамках проекта ФГБОУВО "НИУ "МЭИ" совместно с ООО ""НПО "Технопрогресс" осуществляются следующие:

1) Разработаны технические требования и предложения по разработке, производству и эксплуатации односкважинной системы съема глубинной тепловой энергии недр Земли с учетом технологических возможностей и особенностей индустриального партнера - организации реального сектора экономики, в рамках которых выполнено следующее:

- разработан атлас существующих скважин, на основе которых возможно создание односкважинной системы съема глубинной тепловой энергии недр Земли;

- проведено расчетно-параметрическое исследование эффективности тепловых схем для комбинированной выработки тепловой и электрической энергии с использованием программного обеспечения ASPEN/HYSYS;

- разработана эскизная конструкторская документация на распределительную арматуру для односкважинной системы съема и транспортировки глубинной тепловой энергии недр Земли;

- разработана эскизная конструкторская документация модуля формирования защитных покрытий на функциональных поверхностях односкважинной системы съема и транспортировки глубинной тепловой энергии недр Земли;

- разработана эскизная конструкторская документация на изготовление испытательного стенда для моделирования работы односкважинной системы съема теплоты недр с использованием нетрадиционных теплоносителей.

Опыт выполнения Индустриальным партнером научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ свидетельствует о его технологических и финансовых возможностях для организации производства и внедрения разработанной в рамках ПНИ технологии.

2) Разработан проект Технического задания на проведение опытно-конструкторской работы по теме: «Создание энергоисточника на основе односкважинной системы съема глубинной тепловой энергии недр Земли мощностью 1 МВт», обеспечивающий:

- продолжительное использование тепловой энергии недр;
- комбинированное тепло-, электро- и холодоснабжение автономных потребителей;
- высокую экологическую безопасность;
- энергоснабжение потребителей независимо от географических, сезонных и климатических факторов.

3) Дана технико-экономическая оценка рыночного потенциала полученных результатов проведенной работы выявила инвестиционную привлекательность. Строительство петротермального источника энергоснабжения экономически целесообразно, в том числе при использовании фонда уже существующих неиспользуемых скважин. При этом срок окупаемости не превышает 58 месяцев.

4) Проведены маркетинговые исследования для дальнейшей коммерциализации технологии извлечения глубинной тепловой энергии недр Земли. Показано, на сегодняшний день существуют следующие общеэкономические предпосылки вывода на рынок односкважинной системы съема и извлечения глубинной тепловой энергии недр земли для комбинированного энергоснабжения автономных потребителей:

- обеспеченность электроэнергией населения России в 17 раз ниже аналогичного показателя стран Европы: более 70% населенных пунктов не имеют доступа к централизованным сетям; свыше 20 млн человек не могут повысить свой жизненный уровень без достаточного количества электроэнергии;

- способом энергоснабжения автономных потребителей является использование неэкологичных дизельных электростанций, при этом ежегодный объем поставок энергоносителей в удаленные регионы в денежном выражении составляет более 110 млрд руб.;

5) Разработана программная документация и программа для ЭВМ на основе математической модели односкважинной системы съема и транспортировки глубинной тепловой энергии недр Земли на поверхность с учетом реального процесса снижения температурного потенциала пород недр на основе полученных результатов экспериментальных исследований, обеспечивающая в соответствии с ТЗ:

- возможность использования значений геотермических градиентов от 1 до 10°C/100 м;
- возможность задания скорости теплоносителя в диапазоне от 0,5 до 2 м/с;
- возможность задания конструкции скважины с переменным диаметром как наружной, так и внутренней колонны труб.

6) Проведена популяризация промежуточных и заключительных результатов ПНИ. Принято участие в 23 Международной научно-технической конференции (МНТК) "Радиоэлектроника, электротехника и энергетика". Место и дата проведения: Москва, ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», 02-03 марта 2017 г; в ежегодной национальной многоотраслевой выставке ВУЗПРОМЭКСПО-2017. Место и дата проведения: Москва, ЦВК "Экспоцентр", павильон "Форум" (Краснопресненская набережная, 14), 13-14 декабря 2017; в XV Московском международном энергетическом форуме "ТЭК России в XXI веке". Место и дата проведения: Москва, комплекс административных зданий Правительства Москвы (ул. Новый Арбат, д. 36/9), 06 - 07 апреля 2017 г; в XXXIV Московском городском форуме и выставке "Москва – энергоэффективный город". Место и дата проведения: Здание Правительства Москвы (ул. Новый Арбат, д. 36), 01–03 ноября 2017г.

В настоящее время НИУ "МЭИ" совместно с Индустриальным партнером заключены Лицензионные договора:

- № 6–17 от 25.07.2017г. о передаче права на использование патента РФ на изобретение № 2623824, дата гос. регистрации 29.06.2017г. "Установка для определения темпов изменения температуры пород недр";

- № 8–17 от 05.09.2017г. о передаче права на использование программы для ЭВМ № 2017619420, дата гос.регистрации 24.08.2017г. "Программа измерительного модуля экспериментального стенда по моделированию процесса захолаживания околоскважинных пород недр Земли";

– № 10–17 от 06.09.2017г. о передаче права на использование программы для ЭВМ №2017619595 от 28.08.2017г. "Программа для анализа результатов экспериментальных исследований процесса захолаживания околоскважинных пород недр Земли".

3. Область применения результатов проекта

Область использования результатов ПНИ – теплоэнергетика и топливно-энергетический комплекс. Практические результаты выполненных исследований найдут широкое применение при тепло- и электроснабжении удаленных и обособленных потребителей. Результаты исследований будут востребованы проектными организациями для выполнения корректных расчетов при проектировании источников тепло- и электроснабжения на основе использования глубинной теплоты недр Земли, а также эксплуатирующими и энергоснабжающими компаниями при проведении технико-экономической оценки и определении инвестиционной привлекательности перспектив использования такого рода энергоисточников.

4. Оценка перспектив продолжения работ по проекту

Результаты работ, полученные на третьем заключительном этапе выполнения Соглашения, полностью соответствуют требованиям Технического задания и плана-графика исполнения обязательств и дают основание полагать, что выполнены все поставленные задачи, и результаты ПНИЭР найдут широкое применение в промышленности.

Комиссия Минобрнауки России признала обязательства по Соглашению на отчётном этапе исполненными надлежащим образом.