

ОТЗЫВ
официального оппонента на диссертацию
Алхасовой Джамили Алибековны
«Энергоэффективные технологии освоения геотермальных ресурсов
пластового типа», представленную на соискание ученой степени доктора
технических наук по специальности 2.4.5 – Энергетические системы
и комплексы

1. Актуальность темы диссертации

Диссертационная работа Алхасовой Д.А. направлена на решение научной проблемы, имеющей важное хозяйственное значение для социально-экономического развития Северо-Кавказского региона на основе использования геотермальной энергии, в том числе в комплексе с другими видами возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Тема диссертации соответствует приоритетам Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 28 февраля 2024 г. №145 (приоритет – переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья, формирование новых источников, способов транспортировки и хранения энергии), а также Программе фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021–2030 годы), утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 31 декабря 2020 г. № 3684-р. (Приложение: Перечень приоритетных направлений фундаментальных и поисковых научных исследований на 2021–2030 годы, раздел 2.5.1.7 – альтернативные источники энергии, технологии, производство и преобразование энергии на основе возобновляемых источников).

Актуальность работы обуславливается развитием хозяйственной деятельности в Северо-Кавказском регионе в условиях дефицита местных ресурсов традиционных источников энергии, особенно остро сказывающимся в отдаленных районах, при наличии значительного потенциала в использовании геотермальных ресурсов. По некоторым оценкам, геотермальные ресурсы Восточно-Предкавказского артезианского бассейна (ВПАБ) оцениваются в 1 ГВт электрической и 10 ГВт тепловой мощности. При этом геотермальные ресурсы освоены далеко не полностью, а там, где они осваиваются, вследствие низкого технологического уровня, имеет место низ-

кой процент их практического использования. В регионе имеется большой потенциал в использовании низкопотенциальных геотермальных ресурсов на основе активно развивающихся в мире теплонасосных технологий. Также имеются хорошие перспективы в комплексном (выработка электроэнергии, тепла и извлечение ценных компонентов) освоении высокотемпературных, до 220°C, пластов.

2. Научная новизна

Научная новизна работы заключается в разработке методов эффективного освоения геотермальных ресурсов Северо-Кавказского региона, предполагающих использование теплового, водоресурсного, газового и химического потенциалов термальных вод. В том числе:

1. Разработаны технологические системы комплексного освоения теплового и вещественного потенциалов низкопотенциальных термальных вод с использованием теплонасосных технологий и последующей их очисткой от загрязнителей на блоках химводоочистки.

2. Разработана технология освоения газонасыщенных термальных вод среднего энергетического потенциала, которая предполагает повышение эффективности утилизации тепловой энергии термальных вод путем ее преобразования в электроэнергию в комбинированной геотермально-парогазовой энергетической системе.

3. Разработаны эффективные технологии комплексной переработки высокотемпературных рассолов с утилизацией тепловой энергии в бинарной ГеоЭС и последующим извлечением растворенных химических соединений.

Кроме того, новизной характеризуются следующие положения, выводы и рекомендации:

1. На основе различных физико-математических и оптимизационных моделей разработаны новые термодинамические, гидродинамические, тепломассообменные и оптимизационные методы расчетов геотермальных систем.

2. Выполнена оценка эффективности создания бинарных ГеоЭС с использованием простаивающих нефтяных и газовых скважин и определены основные характеристики ГеоЭС с технологией геодинамических систем на перспективных площадях Восточно-Предкавказского артезианского бассейна.

3. Обоснована эффективная комбинированная солнечно-геотермальная система для отопления и горячего водоснабжения децентрализованных объектов малой мощности (10-100 кВт).

4. Разработаны геотермально-биогазовые технологии с комплексным использованием теплового потенциала термальных вод, том числе в биореакторе для подогрева биомассы и создания термофильного режима ее брожения.

5. Предложена новая технология съема тепла с высокотемпературных рассолов непосредственно в геотермальном пласте скважиной горизонтальной конструкции, изучены процессы тепломассопереноса в такой системе.

6. Приведены формулировки и получены решения радиально-симметричных задач тепломассопереноса в высокотемпературном геотермальном коллекторе вокруг добывающей скважины с учетом фазовых переходов и теплообмена с кровлей и подошвой пласта.

3. Степень обоснованности и достоверность положений, выводов и рекомендаций диссертации

Представленная к защите диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 255 наименований, содержит 252 страницы, 3 приложения.

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, методы исследования, охарактеризована научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе рассматривается современное состояние геотермальной энергетики, анализируются перспективы вовлечения доступных геотермальных ресурсов в различных регионах Российской Федерации. Определены параметры, характеризующие низко-, средне- и высокопотенциальные термальные воды ВПАБ, рассмотрены способы их эффективного использования.

Во второй главе представлена методика расчета влияния количества и размера продольных ребер на процесс теплообмена в скважинном теплообменнике. Разработана математическая модель, описывающая данный процесс, разработана методика для расчета перепад давления в теплообменнике. Предложен критерий оптимальности выбора числа ребер и их высоты.

В третьей главе представлены разработанные автором диссертации технологии освоения геотермальных ресурсов ВПАБ разного энергетического потенциала, в том числе: технологии комплексного освоения низкопотенциальных геотермальных ресурсов с применением тепловых насосов и использованием как энергетического потенциала термальных вод, так и самой воды на водохозяйственные нужды с доведением ее качества до кондиций питьевой воды на различных блоках водочистки; технология комбинированной геотермально-парогазовой энергетической системы для выработки электроэнергии, использующей среднетемпературные термальные воды; технологические схемы комплексного освоения высокотемпературных гидрогеотермальных рассолов Северо-Кавказского региона с использованием их теплового и химического потенциалов. Также обоснована возможность эффективного освоения геотермальных ресурсов региона путем строительства бинарных ГеоЭС на циркуляционных системах, созданных на базе простаивающих нефтяных и газовых скважин.

В четвертой главе приведены разработанные комбинированные технологии освоения возобновляемых энергоресурсов. Предложена комбинированная солнечно-геотермальная система для теплоснабжения децентрализованных потребителей малой мощности. Отмечена эффективность такой системы на примере отопления и горячего водоснабжения дома на полигоне ИПГВЭ ОИВТ РАН в г. Махачкале. Представлена схема использования термальных вод в энергобиологическом комплексе.

В пятой главе рассмотрены радиально-симметричные задачи, связанные с притоком теплоносителя к добывающей скважине с учетом фазовых переходов в высокотемпературном питающем пласте. Предложена математическая модель тепло-массопереноса в геотермальном пласте, насыщенном пароводяной смесью, при извлечении теплоносителя одиночной скважиной.

В заключении сформулированы основные выводы по работе.

Достоверность и обоснованность положений, выводов и рекомендаций работы определяется корректным использованием базовых законов и положений технической термодинамики, теплопередачи, адекватным использованием информации, полученной различными авторами и организациями в ходе исследований гео-

термальных объектов на территории ВПАБ, а также подтверждением ряда предлагаемых решений опытными данными, полученными на полигоне ИПГВЭ ОИВТ РАН. Также, положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, имеют высокую степень обоснованности, определяемую корректным использованием понятийного аппарата современной энергетики и строгим следованием логики при обосновании получаемых результатов.

4. Практическая значимость работы

Практическая значимость работы заключается в том, что внедрение полученных автором технологий комплексного освоения геотермальных ресурсов разного потенциала на геотермальных месторождения ВПАБ позволит значительно повысить энергетическую безопасность и надежность энергоснабжения социально важных объектов, улучшить экономические показатели хозяйственной деятельности и экологическую ситуацию в регионе, повысить уровень жизни значительной части населения, а также обеспечит возможность извлечения крайне важных для развития различных отраслей экономики России редких элементов из высокоминерализованных высокотемпературных рассолов.

Комбинированная геотермально-парогазовая энергетическая установка на среднетемпературных термальных водах, солнечно-геотермальная система отопления и горячего водоснабжения децентрализованных потребителей малой мощности, конструкция теплообменника типа «труба в трубе» с продольными ребрами для снятия тепла с высокоминерализованной термальной воды, геотермально-биогазовые технологии с комплексным использованием термальной воды приняты для практической реализации Министерством энергетики и тарифов Республики Дагестан. Технология комплексного использования термальных вод в энергобиологическом комплексе принята ООО «Геоэкопром» для реализации на Речнинском месторождении Республики Дагестан.

5. Публикации и апробация работы

Основные научные результаты диссертации достаточно полно отражены в опубликованных статьях в рецензируемых научных изданиях. Общее количество статей автора диссертации в изданиях, рекомендованных ВАК России, с учетом патентов и международных баз данных, – 25.

Основные положения диссертационной работы докладывались на многочисленных научных мероприятиях, включая международные, в период с 2005 по 2023 гг.

6. По диссертации имеются следующие замечания:

1. Утверждение об отсутствии новых передовых технологий в использовании геотермальных ресурсов (3 абзац на стр. 5 диссертации) выглядит неубедительно. Что подразумевается под передовыми технологиями? Ранее в международной практике их основу составляли технологии HDR (горячие сухие породы), которые теперь считаются традиционными. Сейчас к передовым относят технологии извлечения энергии магмы, использования геодавления и т.д. И, вообще, уместно ли использовать прилагательное «передовые» к отсутствующим технологиям?

2. Формулировка первого положения, выносимого на защиту, неаконична, излишне детализирована и, как следствие, положение трудно воспринимаемо.

3. В разделе 4.1 диссертации представлена солнечно-геотермальная система отопления и горячего водоснабжения жилого дома. К сожалению, в диссертации не приведены теоретические расчеты, обосновывающие эффективность данной системы. Соответственно, в последующем описании экспериментальной солнечно-геотермальной системы (раздел 4.2), нет сопоставления опытных и теоретических данных.

4. Вывод о том, что падение давления в пласте вследствие работы скважины необязательно приводит к дополнительному парообразованию требует более внимательного обоснования с физической точки зрения. Если результаты расчетов по модели противоречат очевидным явлениям – это является следствием, скорее всего, неадекватности модели.

5. По математической модели тепломассопереноса в пласте, представленной в диссертации системой уравнений (5.22) (система (10) в автореферате) имеются замечания:

5.1. Замена уравнений состояния насыщенной воды и пара простыми соотношениями типа уравнения Клайперона может иметь принципиальное значение для точности расчета. Использование точных уравнений состояния, однако, неминуемо приведет к необходимости поиска численного решения данной системы.

5.2. Вызывает вопросы адекватность учета влияния теплообмена флюида с вмещающими породами в рамках одномерной модели с принятой формой его выражения в системе (последний член третьего уравнения). Ясно, что в данном случае теплообмен не ограничивается одномерной задачей.

5.3. Предложенную модель следует рассматривать как упрощенную, с соответствующим отношением к полученным выводам. Более тщательное исследование описываемого процесса, возможно, следовало бы осуществить с использованием распространенных в области геотермальных исследований моделей, таких как, например, TOUGH2.

Указанные замечания не снижают ценности представленной диссертационной работы Алхасовой Д.А., которая выполнена на высоком профессиональном уровне и заслуживает высокой оценки.

7. Общее заключение по диссертации

Диссертационная работа Алхасовой Д.А. является законченной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно на высоком научно-техническом уровне. Задачи, поставленные в диссертации решены в полном объеме, защищаемые положения сформулированы достаточно четко и однозначно, положения, выводы и рекомендации работы имеют высокую степень достоверности и обоснованности. Работа обладает внутренней логикой, ее содержание изложено четко и ясно в научно-техническом стиле, оформление соответствует установленным требованиям. Автореферат соответствует содержанию диссертации и в полной мере передает ее суть и обоснованность выводов и рекомендаций. Основные научные результаты диссертации достаточно полно отражены в опубликованных статьях в рецензируемых научных изданиях.

Таким образом, диссертация Алхасовой Джамилы Алибековны на тему: «Энергоэффективные технологии освоения геотермальных ресурсов пластового типа», является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основе выполненного комплекса исследований решена научная проблема, имеющая важное хозяйственное значение для социально-экономического развития Северо-Кавказского региона на основе использования геотермальной энергии, в том числе в комплексе с другими видами возобновляемых источников энергии, что соответ-

ствуется требованиям П. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842 (с изменениями), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.4.5 – Энергетические системы и комплексы.

Официальный оппонент

доктор технических наук, директор Института горного дела Дальневосточного отделения Российской академии наук – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Хабаровского Федерального исследовательского центра Дальневосточного отделения Российской академии наук. Шифр специальности, по которой защищена диссертация 25.00.20 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика». Почтовый адрес: 680000, Хабаровск, ул. Тургенева, 51. Телефон: +7 (4212)31-17-32. Электронный адрес:

Подпись Шулюпина
Главный специалист
Российской академии
государственного б
исследовательского

Александр Николаевич

Дальневосточного отделения
Российской академии наук
Федерального
исследовательского
Федеральной
Российской академии наук

Елена Юрьевна

Дата составления отзыва 06.05.2024 г.

Поступил в совет 24.05.2024г.
Ученый секретарь ДС Юу Ворухи О.В./

С отзывом ознакомлена 24.05.2024г.

Архасова Д.А./