

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

Диссертационная работа Алхасовой Д.А. направлена на решение важной проблемы энергообеспечения субъектов Северо-Кавказского федерального округа на основе разработки технологий с использованием геотермальной и других возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Проблематика диссертации находится в русле приоритетных направлений развития науки, технологий и техники РФ (8. Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика) и связана с разработкой критических технологий РФ (15. Технологии новых и возобновляемых источников энергии, включая водородную энергетику).

Актуальность работы обусловлена необходимостью повышения энергетической безопасности Северо-Кавказского региона, где традиционные ископаемые виды ресурсов не достаточны для полного обеспечения потребностей в энергии. В то же время в регионе имеются огромные ресурсы различных ВИЭ, которые могут быть использованы на различные энергетические цели. Перспективными для масштабного освоения являются гидрогеотермальные ресурсы, эффективность которых доказана долговременным опытом использования на теплоэнергетические нужды. В пределах региона на разных глубинах залегают огромные гидрогеотермальные ресурсы, экономический потенциал которых позволяет использовать их для выработки электроэнергии и тепла на длительную перспективу.

Научная новизна

1. Разработаны методы эффективного освоения геотермальных ресурсов Северо-Кавказского региона, предполагающие круглогодичную эксплуатацию геотермальных скважин с использованием теплового, водоресурсного, газового и химического потенциалов термальных вод.

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

3. Разработана технология освоения газонасыщенных термальных вод среднего энергетического потенциала, которая предполагает постоянную круглогодичную эксплуатацию геотермальных скважин и повышение

эффективности утилизации тепловой энергии термальных вод путем ее преобразования в электроэнергию в комбинированной геотермально-парогазовой энергетической системе (ГПЭС).

4. Показана высокая эффективность и разработаны технологии комплексной переработки высокотемпературных рассолов с утилизацией тепловой энергии в бинарной ГеоЭС и последующим извлечением растворенных химических соединений. Комплексное освоение высокотемпературных геотермальных рассолов является новым направлением в геотермальной энергетике.

5. Разработаны термодинамические, гидродинамические, тепломассообменные и оптимизационные методы расчетов геотермальных систем и их узлов с использованием различных физико-математических и оптимизационных моделей.

6. Проведена оценка эффективности создания бинарных ГеоЭС с использованием простаивающих нефтяных и газовых скважин. Подсчитаны мощности и основные характеристики ГеоЭС с ГЦС-технологией на перспективных площадях Восточно-Предкавказского артезианского бассейна (ВПАБ).

7. Разработана комбинированная солнечно-геотермальная система для отопления и горячего водоснабжения децентрализованных объектов малой мощности (10-100 кВт), которая реализована для энергоснабжения коттеджного дома на полигоне ИПГВЭ ОИВТ РАН. Результаты проведенных испытаний системы показали ее высокую энергетическую эффективность.

8. Разработаны геотермально-биогазовые технологии с комплексным использованием термальных вод. Технологии предусматривают использование теплового потенциала термальной воды на различные тепловые цели, в том числе в биореакторе для подогрева биомассы и создания термофильного режима ее брожения.

9. Предложена новая технология съема тепла с высокотемпературных рассолов непосредственно в геотермальном пласте скважиной горизонтальной конструкции. Изучены процессы тепломассопереноса в такой системе. Методом Лагранжа получено решение задачи для определения температуры циркулирующего в скважине теплоносителя в произвольный момент времени.

10. 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.

Достоверность полученных результатов. При проведении исследований автор использует комплексный подход с использованием фундаментальных основ технической термодинамики, теплопередачи и накопленных на сегодняшний день знаний, полученных при проведении гидрогеотермальных исследований различными организациями на территории ВПАБ.

Практическая значимость результатов работы состоит в том, что внедрение на перспективных участках ВПАБ предложенных автором технологий комплексного освоения геотермальных ресурсов разного потенциала позволит значительно увеличить долю геотермальной энергии и других ВИЭ в энергетическом балансе Северо-Кавказского региона, что существенно повысит энергетическую безопасность и надежность энергоснабжения социально важных объектов, улучшит экономические показатели хозяйственной деятельности, экологическую ситуацию в регионе и условия жизни значительной части населения, обеспечит потребности различных отраслей экономики России в редких элементах за счет их извлечения из высокоминерализованных рассолов.

Комбинированная геотермально-парогазовая энергетическая установка для освоения среднетемпературных термальных вод, 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.

Представленная к защите диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы; 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 рассматриваются современное состояние геотермальной энергетики. Обозначены регионы, в которых сосредоточены основные геотермальные ресурсы России. Приведены параметры,

характеризующие низко-, средне- и высокопотенциальные термальные воды ВПАБ и способы их эффективной утилизации.

Во второй главе всесторонне изучен способ интенсификации процесса теплообмена между теплоносителями продольным оребрением скважинных теплообменников. Разработана математическая модель, описывающая процесс теплообмена между потоками для оценки эффективности оребрения скважинного теплообменника. Разработана методика, позволяющая рассчитывать перепад давления при движении потока по кольцевому сечению с ребрами. Сформулирован критерий оптимальности выбора параметров скважинного теплообменника с ребрами.

В третьей главе приведены разработанные технологии освоения гидротермальных ресурсов ВПАБ разного энергетического потенциала. Разработаны технологии комплексного освоения низкопотенциальных геотермальных ресурсов на основе теплонасосных систем, где достигается эффективное использование тепла артезианской воды на теплоэнергетические цели и самой воды на водохозяйственные нужды с доведением ее качества до кондиций питьевой воды на различных блоках водоочистки. Разработана технология комбинированной геотермально-парогазовой энергетической системы, позволяющей эффективно использовать для выработки электроэнергии среднетемпературные термальные воды. Разработаны схемы комплексного освоения высокотемпературных гидрогеотермальных рассолов Северо-Кавказского региона с использованием их теплового и химического потенциалов. Обоснована возможность эффективного освоения геотермальных ресурсов региона путем строительства бинарных ГеоЭС на основе геотермальных циркуляционных систем с использованием 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, результаты испытаний системы показали ее эффективность. Приведены разработанные геотермально-биогазовые технологии с комплексным использованием термальных вод.

В пятой главе рассмотрены радиально-симметричные задачи, связанные с притоком теплоносителя к скважине с учетом фазовых переходов. Получены условия существования фронтального режима извлечения пара из

высокотемпературного пласта. Предложена математическая модель тепломассопереноса в геотермальном пласте, насыщенном пароводяной смесью, при извлечении теплоносителя одиночной скважиной.

В заключении сформулированы основные выводы по работе.

По диссертации имеются следующие замечания:

1. В работе не приведены численные показатели эффективности разработанных систем утилизации геотермального теплоносителя, что затрудняет оценку перспективности их практического применения.
2. Выбор органического рабочего тела существенно влияет на технические, экономические, эксплуатационные и экологические показатели и характеристики бинарной энергоустановки. Следовало бы обосновать выбор изобутана в качестве рабочего тела бинарных ГеоЭС в разработанных системах утилизации геотермального теплоносителя.
3. Не ясно из каких соображений расчетные исследования повышения эффективности теплообмена продольным ребрением теплопередающей поверхности скважинного теплообменника с определением оптимальных величин количества и высоты ребер были выполнены для значений внешнего диаметра внутренней трубы и внутреннего диаметра наружной трубы равных 27 мм и 60 мм соответственно, что существенно меньше диаметра реальных геотермальных скважин. Кроме того, целесообразно было бы привести критерии подобия для обеспечения корректного переноса результатов оптимизационных расчетов на аналогичные скважинные теплообменники других диаметров.
4. Для утилизации тепла геотермальных высокотемпературных рассолов предложена конструкция теплообменника типа «труба в трубе». Следовало бы представить экспериментальные зависимости интенсивности образования солеотложений и значений гидравлического сопротивления от скорости течения геотермальной среды, на основании которых делается вывод об оптимальном значении скорости потока во внутренней трубе равной 2,0-3,0 м/с. Не ясно как на ее значение повлияет изменение геометрических размеров теплообменника, а также условий эксплуатации: включая концентрацию солей, температуру и давление геотермальной среды.
5. В главе 1 указано, что Россия отстает от ряда стран в части использования георесурсов в электрогенерации, т.е. в суммарной мощности действующих ГеоЭС. В то же время следовало бы отметить, что ряд российских разработок в области геотермальной энергетики до сих пор превосходят по своим показателям мировые аналоги. Например, созданные отечественные горизонтальные сепараторы обеспечивают рекордно малую степень

влажности пара перед турбиной (менее 0,05%), а турбоустановки мощностью 25 МВт Мутновской ГеоЭС (которая успешно работает более 20 лет) обладают лучшими в своем классе технико-экономическими показателями, в том числе самым низким значением удельного расхода пара – 6,89 кг/кВт*час. Кроме того, поскольку значительная часть материалов диссертации посвящена бинарным ГеоЭС, то в обзоре следовало бы больше уделить внимания современным бинарным энергоустановкам с органическим рабочим телом.

Указанные замечания не снижают ценности представленной диссертационной работы Алхасовой Д.А., которая выполнена на высоком профессиональном уровне, а основные научные результаты опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК РФ для публикации материалов кандидатских и докторских диссертаций и приравненных к ним из международных баз Scopus WoS, а также в двух монографиях и четырех патентах РФ на изобретения. Материалы диссертации апробированы на различных научных конференциях. Содержание автореферата полностью соответствует рукописи диссертации.

Общее заключение по диссертации:

Диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности 2.4.5- Энергетические системы и комплексы, является законченной научно-квалификационной работой, в которой представлены оригинальные научные результаты исследований и изложены научно обоснованные технические и технологические решения, внедрение которых будет способствовать развитию геотермальной энергетики России.

Диссертация полностью соответствует требованиям, установленным пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» № 842 от 24.09.2013 г. (ред. 25.01.2024), а ее автор, Алхасова Джамиля Алибековна достойна присуждения ученой степени доктора технических наук.

Генеральный директор ООО «Геотерм-М»

Лауреат государственной премии РФ,

д.т.н., профессор

Общество с ограниченной ответственностью «
Лефортовский Вал, д.24, тел. 8 (495) 918-00-04;

Подпись Томарова Григория Валенти

Заместитель директора по науке

*Поступил в совет 11.06.2024,
Уч. секретарь ЭС Ву Ворущи*

С отзывом ознакомлена 14.06.24 Д.А. Алхасова Д.А.