

ОТЗЫВ

официального оппонента д.т.н. Бутузова В.А. – на диссертационную работу **Алхасовой Джамилы 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

Актуальность исследований обусловлена тем, что энергетика на современном этапе характеризуется увеличением доли ресурсосберегающих экологических эффективных технологий, к которым относятся технологии на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Технологии на основе геотермальных ресурсов, несомненно, стоит рассматривать как важную составляющую энергетического сектора.

Диссертация соответствует направлению Стратегии научно-технологического развития России «Переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья, формирование новых источников энергии, способов ее передачи и хранения» (Указ Президента РФ от 28 февраля 2024 г. №145).

Основой современной энергетической политики являются меры, направленные на повышение эффективности использования энергии, энергосбережение, сокращение воздействия энергетических объектов на окружающую среду. Накопленный опыт практического использования геотермальных ресурсов и реализация более совершенных технологий и оборудования с использованием всего ресурсного потенциала геотермальных месторождений позволит значительно улучшить проблему энергоснабжения регионов с низким уровнем энергообеспеченности.

Технологические решения по комплексному освоению гидрогеотермальных ресурсов разного потенциала, методы расчета процессов тепломассопереноса, в узлах энергоустановок и рекомендации по выбору их оптимальных параметров с учетом различных факторов создадут условия благоприятного и масштабного вовлечения этих ресурсов для обеспечения потребителей различными видами энергии и пресной водой.

Цель диссертационной работы сформулирована корректно. При масштабности выполненных исследований решены девять основных задач, среди которых следует выделить разработку методов эффективного освоения геотермальных месторождений, технологий комплексного освоения термальных вод разного теплового потенциала, а также рассолов. Выполнена оценка созданных автором бинарных ГеоЭС с использованием

технологий ГЦС. Схемы разработаны с учетом эффективного и экологически безопасного использования водного, теплового, газового и химического потенциалов гидрогеотермальных ресурсов. В частности, освоение низкопотенциальных термальных вод, непригодных зачастую для использования в теплоэнергетических целях, рассмотрено в варианте теплонасосных технологий с последующей подачей охлажденной очищенной воды потребителю. Решение задачи эффективного круглогодичного использования скважин на месторождениях термальных вод средней температуры осуществлено с помощью комбинированных геотермально-парогазовых энергоустановок. Освоение высокопараметрических геотермальных рассолов рассмотрено в варианте с последовательным прохождением их через блоки потребителей и извлечением ценных химкомпонентов. Все задачи автором решены в полном объеме. Степень достоверности результатов обосновывается осуществлением комплексных исследований.

Значимость полученных результатов заключается в том, что реализация на перспективных участках Восточно-Предкавказского артезианского бассейна предложенных в работе энергоэффективных технологий комплексного освоения геотермальных ресурсов разного потенциала позволит значительно увеличить долю геотермальной энергии и других ВИЭ в энергетическом балансе Северо-Кавказского региона, что 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 редкоземельных элементах при извлечении их из высокоминерализованных рассолов.

Научная новизна работы состоит в следующем:

- Разработаны методы эффективного освоения геотермальных ресурсов Северо-Кавказского региона предполагающие круглогодичную эксплуатацию геотермальных скважин с использованием теплового, водного, газового и химического потенциалов термальных вод.
- Разработаны технологические системы комплексного освоения теплового и водного ресурсов низкопотенциальных термальных вод с использованием теплонасосных технологий и последующей их очисткой от загрязнителей на блоках химводоочистки.
- 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).

- 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.

- Разработаны термодинамические, гидродинамические, тепломассообменные и оптимизационные методы расчетов геотермальных систем и их узлов с использованием физических и математических моделей.

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

- Разработана комбинированная солнечно-геотермальная система для отопления и горячего водоснабжения децентрализованных объектов малой мощности.

- 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.

- 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.

- 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.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы. Во **введении** обоснована актуальность работы, сформулирована цель и задачи исследований, научная новизна, теоретическая и практическая значимость. В **первой главе** рассмотрены проблемы и перспективы развития геотермальной энергетике, ресурсные базы водяных месторождений. Во **второй главе** представлены результаты

повышения эффективности оребранных скважинных теплообменников. При этом приводятся теоретические исследования автора дополненные численными экспериментами. Полученные данные могут быть применены при бурении новых скважин. В **третьей главе** приведены разработанные автором технологии освоения гидрогеотермальных ресурсов Восточно-Предкавказского бассейна, в том числе термальных вод разного температурного потенциала, газонасыщенные термальные воды и геотермальные рассолы. В **главе четвертой** представлены экспериментальная солнечно-геотермальная система, геотермально-энергобиологические комплексы. В **главе пятой** изложены результаты исследований тепломассопереноса с фазовыми переходами вокруг добывающей скважины в высокотемпературном геотермальном пласте.

Теоретические и практические результаты работы позволят приступить к широкомасштабному использованию геотермальных ресурсов в энергобалансе Северо-Кавказского региона, улучшить экологическую обстановку и создать условия для сооружения химических производств на базе геотермальных рассолов. Полученные автором аналитические зависимости обеспечивают условия производства скважинных оребранных теплообменников, а математические модели внутрипластового тепломассопереноса являются основой повышения эффективности разработки геотермальных проектах. Для типовых коттеджей, для условий Северного Кавказа разработана и испытана солнечно-геотермальная система теплоснабжения. Практическую значимость имеют и разработанные схемы геотермально-биогазовых комплексов.

Полученные в диссертации результаты могут быть использованы и в других регионах страны, в частности на Камчатке, а также использованы при подготовке специалистов в вузах.

Правительством Дагестана приняты к реализации следующие технологии: геотермально-парогазовая энергоустановка, солнечно-геотермальная установка отопления и ГВС коттеджей, новая конструкция скважинного оребрального теплообменника, геотермально-биогазовые комплексы.

Все результаты исследований подтверждены публикациями автора в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, отмечаются полнотой изложения, личным вкладом автора.

По представленной работе имеются следующие замечания:

1. В главе 1 «Проблемы и перспективы развития геотермальной энергетики» не оценены ресурсы поверхностной геотермии России (на глубинах менее 400 м). Отсутствует анализ опыта эксплуатации единственной в РФ геоциркуляционной системы в Чеченской Республике.

2. В главе 3 в описании некоторых схем технологий освоения гидротермальных ресурсов не указаны расчетные значения мощностей, температур и т.п. В разделе 3.3 не указаны значения концентрации редкоземельных металлов, при которых экономически целесообразно их извлечение из геотермальной воды.

3. В главы 4 раздела 4.1 не представлены расчетные и фактические (при испытаниях) значения тепловых мощностей солнечно-геотермальной системы теплоснабжения, коэффициента трансформации теплового насоса и расчетные значения тепловых нагрузок отопления и горячего водоснабжения коттеджа, расчетное и фактическое значение эффективности солнечно-геотермальной системы.

4. В главе 4 раздела 4.2 не указаны принципы подбора биогазовых технологий с использованием геотермальных вод. На рис. 4.8 стрелками показаны как потоки, геотермальной воды, так и биогаза. Не указаны основные проектные характеристики Речнинского ЭБК.

5. В главе 5 результаты исследований тепломассопереноса теплоносителя с фазовыми переходами вокруг добывающей скважины целесообразно дополнить соответствующими рисунками.

Приведенные замечания не снижают высокой оценки диссертации, основное содержание которой опубликовано 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:

Диссертация соответствует паспорту научной специальности 2.4.5 – Энергетические системы и комплексы, имеет внутреннее единство и является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения, внедрение

которых внесет значительный вклад в развитие геотермальной энергетики России.

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

Генеральный директор
ООО «Энерготехнологии-Сервис»
д.т.н., профессор Кубанского
государственного аграрного
университета



З.А. Бутузов

Подпись Бутузова Виталия Анатольевича
Инспектор по кадрам



ООО «Энерготехнологии-Сервис»
350042, Краснодар, ул. Садовая, 223
Тел. +7(861)251-77-67
E-mail: ets@nextmail.ru

Присутств. в совет 13.05.2024г.
З. секретарь ДС ДУ / Бурузи О.В.

С отзывом Оунакашмена 24.05.2024г.

Алхасов / Алхасова Д.А.