

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу
Черкасова Сергея Владимировича
«Методологические основы создания и эксплуатации
природно-техногенных систем геотермальной энергетики»,
представленной на соискание ученой степени доктора технических наук
по специальности 25.00.10. Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых

При производстве энергии в качестве первичных источников превалируют уголь и углеводороды, однако доля ВИЭ неуклонно растет и в последние десятилетия сформировала одно из наиболее значимых направлений развития энергетики. Она превращается в реальную отрасль отечественной энергетики и способствует развитию новых секторов промышленности, направленных на обеспечение возобновляемой энергетики необходимым оборудованием.

Анализ показывает рост интереса отраслевых специалистов к вопросам, связанным с реализацией геотермальных проектов в целом, а также - к геологическим и экологическим аспектам геотермальной энергетики, основанной на использовании глубинного тепла Земли.

Решению этих задач посвящена диссертация Черкасова С.В. «Методологические основы создания и эксплуатации природно-техногенных систем геотермальной энергетики». Актуальность данной работы заключается в разработке методологии создания природно-техногенных систем геотермальной энергетики с учетом способов оптимизации характеристик геотермальных природно-техногенных систем, минимизации геоэкологических рисков, современного состояния технологий бурения и теплоотбора и усиления методологического обеспечения.

В качестве цели диссертационной работы автор определяет решение важной научно-технической проблемы: разработку методологии эффективного экологически чистого использования геотермальной энергии. Для реализации этой цели решались следующие задачи:

1. Анализ современного состояния геотермальной энергетики, включая: а) вопросы классификации геотермальных ресурсов и способов их использования; б) анализ современных технологий теплоотбора с учетом связанных с ними геоэкологических рисков; в) определение наиболее эффективных и экологически чистых технологий на основе теоретического и практического исследования геотермальных природно-техногенных систем;

2. Разработка методологии создания природно-техногенных гидротермальных систем для целей теплоотбора из месторождений теплоэнергетических вод;

3. Научное обоснование эффекта остаточного дебита циркуляционной гидротермальной системы и определение перспектив использования эффекта для оптимизации природно-техногенных геотермальных систем;

4. Разработка и апробация метода геоэкологического мониторинга геотермальных природно-техногенных систем.

Если под таким углом зрения рассматривать тематику и содержание диссертационного исследования, то она соответствует паспорту специальности 25.00.10. Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых. Достоверность результатов, приведенных в работе, не вызывает сомнений. Исследование выполнено в соответствии со следующими разделами паспорта специальности:

- применение геофизических методов при решении задач охраны окружающей среды,
- интегрированный анализ многомерной, многопараметровой и разнородной информации, включающей геофизические данные,
- мониторинг геологического строения и разработка месторождений геофизическими методами,
- использование геолого-геофизических данных для построения геологических, гидродинамических и геодинамических моделей месторождений.

Объект исследований. Объектом исследования являются геотермальные природно-техногенные системы.

Предмет исследований. Разработка методологии создания и эксплуатации геотермальных природно-техногенных систем.

Впервые соискателем проведены исследования и получены результаты, характеризующиеся научной новизной:

1. Разработана генерализованная актуализированная классификация геотермальных ресурсов по способам их использования, определены наиболее перспективные на настоящий момент способы использования геотермальной энергии и систематизированы геоэкологические риски геотермальной энергетики.

2. На основе подхода к геотермальным системам теплоотбора как к природно-техногенным системам, разработана методология создания и эксплуатации объектов геотермальной энергетики.

3. Научно обоснован эффект остаточного дебита гидротермальной циркуляционной системы и определены перспективы его использования для оптимизации взаимодействия природных и техногенных геотермальных подсистем.

4. Разработана программа исследований эффекта остаточного дебита циркуляционной системы теплоотбора.

5. Предложен способ интерпретации данных беспилотной инфракрасной съемки, обеспечивающий выделение тепловых аномалий, связанных с технологическими и аварийными разливами теплоносителя в процессе эксплуатации месторождений теплоэнергетических вод.

Полученные автором результаты имеют значимость для науки и практики.

В рамках применения методологии при создании Ханкальской опытно-промышленной геотермальной станции создана трехмерная модель Ханкальского месторождения теплоэнергетических вод, разработан пакет программного обеспечения GEOTHERM для моделирования изменения полей давлений, скоростей потока и температур в резервуаре, произведена оценка температурной деградации резервуара теплоэнергетических вод при эксплуатации циркуляционной системы.

Разработана программа исследований эффекта остаточного дебита и установлена возможность его использования для повышения эффективности циркуляционных систем теплоотбора.

Предложен и опробован способ интерпретации результатов беспилотной инфракрасной аэросъемки, обеспечивающий обнаружение утечек на скважинах и в системе трубопроводов.

Диссертационная работа состоит из введения, 7 глав, заключения, выводов, списка использованной литературы (149 источников, в т.ч. 30 - фондовых, и 4 – рукописных). Объем работы составляет 249 страниц, работа проиллюстрирована 62 рисунками, 12 таблицами, и 9-ю приложениями.

В введении приводится характеристика современного состояния объекта и предмета исследований, обосновывается необходимость актуализации и обобщения классификаций источников геотермальной энергии, реализации подхода к системам теплоотбора как к природно-техногенным системам, систематизации геоэкологических рисков, связанных с созданием и эксплуатацией природно-техногенных геотермальных систем и разработки методов мониторинга их эксплуатации

В **1 главе** рассматриваются данные современных научных исследований и результаты практического использования тепла Земли, характеризуется геотермальный потенциал России, и определяются основные проблемы использования геотермальных ресурсов в Российской Федерации.

Вторая глава посвящена актуализации и генерализации классификации геотермальных ресурсов.

В **третьей** главе определяются основные геоэкологические аспекты геотермальной энергетики и обосновывается преимущество гидротермальных систем перед петротермальными при современном уровне развития технологий бурения и теплоотбора в Российской Федерации.

В **четвертой** главе представлены результаты разработки методологии создания геотермальных природно-техногенных систем

Как правило, природно-техногенные системы рассматриваются с точки зрения уже произошедшего негативного антропогенного воздействия на природную подсистему. Предлагает-

мый подход к созданию систем теплоотбора для объектов гидротермальной энергетики заключается в обеспечении оптимального взаимодействия природной и техногенной подсистем циркуляционной системы на ранних стадиях создания гидротермальных природно-техногенных систем, в основном – на предпроектной стадии.

Методология работ основана на анализе влияния параметров природной подсистемы на концептуальные и технические решения циркуляционной системы в целом.

Основными параметрами природной подсистемы гидротермальной природно-техногенной системы являются:

- Глубина локализации и мощность природного резервуара теплоэнергетических вод;
- Гидродинамические, гидростатические и емкостно-фильтрационные характеристики резервуара, в т.ч. коэффициент пористости, коэффициент фильтрации, коэффициент пьезопроводности, проницаемость, водообильность;
- Температура и минерализация теплоэнергетических вод.

Эти параметры непосредственно определяют такие характеристики техногенной подсистемы, как локализация точек водозaborа и нагнетания (забои продуктивной и нагнетательной скважины, соответственно), необходимость принятия специальных мер для обработки теплоэнергетических вод, и оптимальные параметры режима работы циркуляционной системы.

В рамках данной работы рассматриваются методы и способы создания и оптимизации гидротермальных природно-техногенных систем на стадиях разработки концепции, предпроектных исследований, ввода в эксплуатацию, и собственно эксплуатации объекта гидротермальной энергетики. На стадиях проектирования и строительства объекта решаются инженерные задачи по выполнению технического задания, формулируемого на стадии предпроектных исследований.

Пятая глава посвящена реализации методологии создания гидротермальных природно-технических систем при выполнении "Комплексного проекта по созданию опытно-промышленной геотермальной станции на основе реализации циркуляционной схемы использования глубинного тепла Земли".

В рамках этого проекта создана первая и единственная в Российской Федерации дублетная циркуляционная система.

Гидрогеологические и структурно-тектонические особенности территории Чеченской Республики определяются ее расположением в юго-восточной части Восточно-Предкавказского артезианского бассейна, на стыке горно-складчатой области Большого Кавказа и Предкавказского передового прогиба. Восточно-Предкавказский артезианский бассейн является гидро-геологической структурой II-го порядка, площадь которого вместе с субмаринной частью составляет 250 тыс. км². В пределах бассейна на территории Ханкальского месторождения выделяются три гидротермических этажа, изолированных друг от друга мощными водонепроницаемыми толщами сарматских и майкопских глин: плиоценовый, миоценовый и мезозойский.

Выбор XIII пласта в качестве продуктивного горизонта обусловлен низкой минерализацией теплоэнергетических вод и расположением пласта на глубине 750-900 м благодаря антиклинальной складке, погружающейся в юго-восточном направлении и двум взбросам, формирующими дислокацию типа горст, севернее и южнее которых продуктивные пласти погружаются на большие глубины.

В **шестой главе** приведены технические характеристики Ханкальской опытно-промышленной геотермальной станции, проанализировано ее значение для развития геотермальной энергетики в Российской Федерации, определен и научно обоснован эффект остаточного дебита циркуляционной системы, рассмотрены направления его дальнейшего исследования и возможности использования для повышения эффективности циркуляционной системы. В ходе испытаний циркуляционной системы Ханкальской опытно-промышленной станции обнаружен эффект остаточного дебита, заключающийся в продолжении циркуляции теплоносителя после выключения насосного оборудования. Ханкальская опытно-промышленная геотермальная станция – первая в России станция «дублетного» типа со 100%-ной обратной за качкой, оснащенная контрольно-измерительным оборудованием и системой управления, обеспечивающими работу станции в разных режимах с автоматической регистрацией.

Станция оборудована датчиками, передающими на диспетчерский пульт 82 параметра, включая значения расходов, давлений и температур в трубопроводах, перед теплообменниками

ми, и после них. Также на станции предусмотрена возможность реализации бинарной схемы для производства электроэнергии. Для установки теплообменника бинарной схемы имеются отводы, позволяющие включить такой теплообменник параллельно действующему.

Такие возможности позволяют проводить широкий спектр экспериментов по производству электроэнергии, по гидродинамической стимуляции резервуара, и по оптимизации режима работы циркуляционной системы, в том числе – с использованием эффекта остаточного дебита. Для использования эффекта в геотермальной энергетике необходимы его детальные исследования, в рамках которых необходимо, в первую очередь, обратить внимание на такие факторы, как сопротивление элементов циркуляционной системы движению флюида, режимы работы насосного оборудования, степень понижения температуры флюида в теплообменнике, возможные изменения приемистости нагнетательной скважины в зависимости от режима работы.

Феномен эффекта остаточного дебита упоминается в литературе, но природа эффекта не анализируется.

В ходе испытаний циркуляционной системы после отключения насосов наблюдался дебит на уровне $25 \text{ м}^3/\text{час}$. Программа испытаний не включала в себя исследования остаточного дебита ГЦС, но предусматривала перерыв в работе насосного оборудования продолжительностью 2 часа, в течение которых дебит не понижался.

Предлагается программа исследований эффекта остаточного дебита циркуляционной системы, рассматриваются возможные результаты исследования и их потенциальное значение для повышения эффективности “дублетных” систем теплоотбора.

7-я глава посвящена предложенному автором методу дистанционного мониторинга геотермальных природно-техногенных систем, которые могут быть распространены по площади до нескольких км^2 , как в случае Ханкальского месторождения теплоэнергетических вод. Метод основан на использовании беспилотного летательного аппарата (БПЛА), оснащенного инфракрасной камерой, и реализован на Ханкальском месторождении теплоэнергетических вод.

В заключении и в выводах резюмируется содержание работы и на основе защищаемых положений формулируются выводы, наиболее актуальные для дальнейшего использования в научной и практической деятельности в области геотермальной энергетики.

Стратегически, при современном уровне развития технологий бурения и при имеющемся состоянии геотермальной энергетики в Российской Федерации целесообразно использовать предлагаемую методологию для развития гидротермальной энергетики как в направлении практических реализаций, так и, в первую очередь, в направлении теоретических и экспериментальных исследований коэволюции природных и техногенных гидротермальных подсистем, включая исследования эффекта остаточного дебита ЦС, разработку бинарных технологий получения электроэнергии, развитие технологий моделирования и стимуляции резервуара (в т.ч. – с использованием опыта нефтегазовой отрасли), извлечения полезных компонентов из теплоэнергетических вод, и др.

Таким образом, в диссертационной работе Черкасова С.В. рассмотрены теоретические основы, методы и алгоритмы обоснования и внедрения разработанных методологических основ создания и эксплуатации природно-техногенных систем геотермальной энергетики.

Имеются замечания к содержанию и структуре работы:

1. Бросается в глаза не очень строгое соответствие между поставленными задачами, главами и выводами, как минимум, по их количеству (задач 4, глав 7, выводов 7).
2. Публикаций автора по теме диссертации достаточно, но среди них нет ни одной статьи «сolo» – они все в соавторстве. В связи с этим желательно, чтобы автор уточнил свой вклад (в %) в публикации и разработку темы.
3. Патенты обычно даются не в списке литературы, а отдельно!
4. Защищаемые положения с точки зрения ВАК должны быть короткие, концентрированные, понятные, у автора они очень длинные и излишне детализированные.
5. Недостаточно разработана технология дифференциации и дешифрирования индикаторов мониторинга термальных вод по данным дистанционного зондирования.

Отмеченные недостатки не снижают общую высокую оценку работы. Она выполнена на адекватном научном уровне, хорошо оформлена. Автореферат отражает основные положения диссертационной работы, материалы диссертации достаточно полно освещены в публикациях автора.

Считаю, что диссертационная работа Черкасова С.В.. «Методологические основы создания и эксплуатации природно-техногенных систем геотермальной энергетики» соответствует «Положению о порядке присуждения ученых степеней». Автор работы Черкасов Сергей Владимирович достоин присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 25.00.10. Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых.

Таким образом, диссертация Черкасова С.В. «Методологические основы создания и эксплуатации природно-техногенных систем геотермальной энергетики» является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение, решена научная проблема, имеющая важное социально-экономическое и хозяйственное значение. Автором изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения, способствовавшие внедрению ЦС в Чеченской республике, направленные на развитие геотермальной энергетики как альтернативного источника энергии.

Официальный оппонент,
доктор технических наук.
Генеральный директор
ООО «Центр сопряженного мониторинга
окружающей среды и природных ресурсов»



/ Булаева Н.М./

367027, РД, г.Махачкала, ул. Селивантьева, д.2
8-926-067-59-67,
bulaevanurjagan@yandex.ru

12.05.2022

