

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.478.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ХАБАРОВСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 25.04.2025 г. № 8

О присуждении Чермошенцевой Алле Анатольевне, гражданке РФ, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Развитие научных основ определения параметров гидрогазодинамических процессов при добыче двухфазных геотермальных флюидов» по специальности 2.8.6. Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика принята к защите 21.01.2025 г. (протокол заседания № 3) диссертационным советом 24.1.478.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Хабаровского Федерального исследовательского центра Дальневосточного отделения Российской академии наук Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 680000, г. Хабаровск, ул. Дзержинского, 54, приказ Минобрнауки РФ от 12 октября 2022 г. № 1167/нк.

Соискатель Чермошенцева Алла Анатольевна, 20 июля 1973 года рождения.

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук «Математическое моделирование тепломассопереноса в пароводяных скважинах и окружающих породах» защитила в 2005 году в диссертационном совете, созданном на базе ГОУВПО «КНАГТУ», работает доцентом кафедры физики и высшей математики в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Камчатский государственный технический университет», Федеральное агентство по рыболовству.

Диссертация выполнена на кафедре физики и высшей математики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Камчатский государственный технический университет», Федеральное агентство по рыболовству.

Научный консультант – доктор технических наук Шулюпин Александр Николаевич, Институт горного дела Дальневосточного отделения Российской академии наук – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Хабаровского Федерального исследовательского центра Дальневосточного отделения Российской академии наук, административно-управленческий персонал, директор.

Официальные оппоненты:

– Алхасов Алибек Басирович, доктор технических наук, профессор, Институт проблем геотермии и возобновляемой энергетики – филиал ФГБУН

Объединенного института высоких температур Российской академии наук, лаборатория энергетики, заведующий лабораторией,

– Пашкевич Роман Игнатьевич, доктор технических наук, доцент, ФГБУН Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения Российской академии наук, административно-управленческий персонал, директор,

– Половников Вячеслав Юрьевич, доктор технических наук, доцент, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», научно-образовательный центр И.Н. Бутакова, профессор,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Акционерное общество «Всероссийский нефтегазовый научно-исследовательский институт имени академика А.П. Крылова», г. Москва, в своем положительном отзыве, подписанном Петраковым А.М., доктором технических наук, Управления разработки месторождений, техническим советником,

указала, что «Диссертационная работа Чермошenceвой А.А. на тему «Развитие научных основ определения параметров гидрогазодинамических процессов при добыче двухфазных геотермальных флюидов» обладает научной новизной и практической значимостью, является законченной научно-квалификационной работой на актуальную тему, выполненной на высоком научном уровне. Выдвинутые на защиту положения обоснованы и доказаны, поставленные задачи решены в полном объеме. Представлены новые научно-технические и технологические решения, внедрение которых является значительным вкладом в развитие геотермальной энергетики в Камчатском крае.

Таким образом, диссертационная работа на тему: «Развитие научных основ определения параметров гидрогазодинамических процессов при добыче двухфазных геотермальных флюидов», представленная на соискание ученой степени доктора технических наук соответствует требованиям, предъявляемым в пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК РФ, а ее автор Чермошenceва Алла Анатольевна заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.8.6 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

Соискатель имеет 155 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 70 работ, из них в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, опубликовано 37 работ, 11 работ в научных изданиях, индексируемых в базах Scopus и Web of Science, 8 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ и две монографии.

В опубликованных материалах по теме диссертации, общим объемом 71,0 п.л., отражены идея и основные положения диссертационной работы. Авторский вклад соискателя в публикациях, объемом 26,8 п.л., состоял в разработке адекватных современным запросам научных основ описания пароводяных течений в добычных скважинах и системах наземной транспортировки на месторождениях парогидротерм; создании соответствующих разработанным научным основам математических моделях и компьютерных программ для расчета пароводяных течений при решении практических задач; обосновании

проектов реконструкции добычных скважин Мутновского месторождения, а также обосновании проектных решений по строительству и реконструкции ряда трубопроводов пароводяной смеси на Мутновском и Паужетском месторождениях; исследовании устойчивости режима парлифтной работы добычных скважин; изучении возможности определения фильтрационных характеристик питающего пласта по данным измерений параметров на устье добычных скважин; выявлении изменения параметров состояния термоводоносного комплекса Паужетского месторождения.

Наиболее значительные работы:

1. Чермошенцева А.А., Шулюпин А.Н. Математическое моделирование пароводяных течений в элементах оборудования геотермальных промыслов. Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2011. – 144 с.

2. Шулюпин А.Н., Чермошенцева А.А. О расчете пароводяного течения в геотермальной скважине // Журнал технической физики. 2013. Т. 83. № 8. С. 14–19.

3. Шулюпин А.Н., Чермошенцева А.А. Оценка изменения условий в термоводоносном комплексе Паужетского месторождения парогидротерм // Известия вузов. Горный журнал. 2014. № 4. С.82–88.

4. Чермошенцева А.А., Шулюпин А.Н. Расчет течений в пароводяных геотермальных скважинах по математическим моделям WELL // Вестник КамчатГТУ. 2015. № 33. С 29–33.

5. Шулюпин А.Н., Чермошенцева А.А., Константинов А.В. О расчете характеристик питающего пласта пароводяной скважины по данным измерений на устье // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 6. С. 360–368.

6. Шулюпин А.Н., Чермошенцева А.А., Константинов А.В. Особенности интерпретации результатов опробования скважин высокопотенциальных месторождений теплоэнергетических вод // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2018. № 12. С. 21–30.

7. Chermoshentseva A., Shulyupin A. The tasks of hydraulics of steam-water wells in the development of steam-hydrothermal fields // E3S Web of Conferences «VII International Scientific Conference "Problems of Complex Development of Georesources"». 2018. V. 56. N. 01009. 7 p.

8. Шулюпин А.Н., Чермошенцева А.А., Варламова Н.Н. Новые вызовы при освоении месторождений парогидротерм с транспортировкой пароводяной смеси // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. № 2. С. 43–49.

9. Шулюпин А.Н., Чермошенцева А.А. Современные тенденции в освоении геотермальных ресурсов // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2022. № 1. С. 165–176.

10. Шулюпин А.Н., Чермошенцева А.А., Чернев И.И., Любин А.А., Варламова Н.Н. Теоретические основы парлифтной добычи геотермальной энергии. Хабаровск: ООО «Амурпринт», 2024. – 438 с.

На диссертацию и автореферат поступило 13 положительных отзывов, содержащих следующие замечания:

В отзыве ведущего научного сотрудника лаборатории рудничной аэродинамики Института горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, (г. Новосибирск) д.т.н. Лугина Ивана Владимировича сделано 3 замечания: «1. В цели диссертационной работы автор использует некие «современные запросы» как критерий актуальности, при этом не раскрывая смысла этого термина, что приводит к некоторой декларативности формулировки. 2. Какие конкретно новые «научные основы определения параметров газодинамических...» разработаны автором в диссертационном исследовании? 3. Что автор подразумевает на стр. 11 второй абзац снизу под термином «представительный объем» для дифференциального метода описания течений? Имеется ли в виду элемент результата разбиения сплошной среды для определения ее параметров решением диффузов в частных производных Навье-Стокса методом контрольных (конечных) объемов? Если это одно и то же, зачем автор вводит термин «представительный объем»?».

В отзыве главного научного сотрудника лаборатории численные методы математической физики Вычислительного центра ДВО РАН (г. Хабаровск), д.ф.-м.н. Намма Роберта Викторовича задан вопрос: «Имеются ли акты, подтверждающие использование разработанных программ при проектировании и обосновании реконструкции скважин и трубопроводов на геотермальных месторождениях Камчатки?» и замечание «Можно было отметить используемые численные методы для реализации математических моделей».

В отзыве генерального директора ООО «Энерготехнологии-Сервис», профессора энергетического факультета Кубанского государственного аграрного университета (г. Краснодар) д.т.н. Бутузова Виталия Анатольевича в качестве недостатка отмечено, что «в автореферате не указаны ограничения гидродинамических характеристик флюидов при их течении в стволах скважин исключая отложения солей кремния и их заносов».

В отзыве заведующего кафедрой «Турбиностроение и трубопроводные транспортные системы» Брянского государственного технического университета (г. Брянск), доктора технических наук Шалыгина Михаила Геннадьевича два замечания «1. При описании компьютерной программы MODEL (стр. 26) автор ссылается на модель дисперсно-кольцевого течения в главе 3 (стр. 13). В обоих случаях отмечается определение перепада давления на трение, но не представлены расчетные формулы. 2. На стр. 12 и 26 отмечаются исследования, проводимые на стенде «Камчатскэнерго». Полагаю, что следовало представить об этом больше информации».

В отзыве профессора кафедры информатики и математики Камчатского государственного университета имени Витуса Беренга (г. Петропавловск-Камчатский), д.ф.-м.н., доцента Паровика Романа Ивановича сделано десять замечаний: «1. Стр. 15 второй абзац снизу. Предложение «Для замыкания математической модели течения используются...» Нужно «Для замыкания математической модели течения в скважине (2)-(4) используются...». 2. На формулы (5), (6), (7), (8) нет ссылок в тексте автореферата. 3. Стр. 16 третий абзац снизу. Предложение «Математическая модель WELL-4 была реализована в виде одноименной компьютерной программы». Здесь не хватает информации о

среде разработки программы. Является ли среда разработки коммерческой или свободной. 4. Здесь же. Следующее предложение «Для решения дифференциальных уравнений (2)–(4), содержащих параметры, определяемые сложной взаимосвязью, потребовалось численное интегрирование.» Далее не хватает информации о методе численного интегрирования. Если система (2)-(4) решалась численно, то возникают вопросы связанные с анализом погрешности (точности) метода и его влияние на окончательные результаты. 5. Стр. 16 последний абзац. Предложение «Скважина, ранее периодически самозадавливающаяся...». Нужно пояснить какой смысл вкладывается в понятие «периодически самозадавливающаяся». 6. На стр. 17-18 речь идет о модификациях компьютерной программы WELL-4. Здесь возникает вопрос, являются ли эти модификации самостоятельными программами или входят в комплекс программ WELL-4? 7. На стр. 23 в подрисуночной подписи к рис. 6 указан диапазон изменения коэффициента потерь давления. Здесь отсутствует размерность коэффициента. 8. На стр. 26 речь идет о компьютерной программе MODEL. Однако нет информации о среде разработки, является она коммерческой или свободной. Другой вопрос связан с существующими аналогами этой программы. Если аналоги есть, то проводились ли исследования их эффективности? 9. Далее на стр. 28, 29, 20. Речь идет о другой компьютерной программе SWIP-S и ее модификации SWIP-L. Здесь также отсутствует информация о среде разработки, аналогах и т.д. 10. В начале автореферата диссертантка оперировала понятием «математическая модель». Однако далее в автореферате диссертантка перешла на понятие «модель». Правильно ли я понимаю, что речь здесь идет о математической модели, а не о физической, компьютерной или какой-нибудь еще?».

В отзыве профессора кафедры «Техносферная безопасность» Дальневосточного государственного университета путей сообщения (г. Хабаровск), доктора технических наук, профессора Катина Виктора Дмитриевича сделано следующее замечание: «На стр. 20 на рис. 3 по оси ординат размерность G должна быть указана в кг/с, а не в барах?».

В отзывах профессора кафедры Теоретической и вычислительной физики Дагестанского государственного университета (г. Махачкала) доктора физико-математических наук Аливердиева Абутаба Александровича и директора Института космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН (с. Паратунка, Камчатского края) доктора физико-математических наук Марапулец Юрия Валентиновича замечания отсутствуют.

В отзыве генерального директора ООО «Геотерм-М» (г. Москва) лауреата государственной премии РФ, д.т.н., профессора Томарова Григория Валентиновича отмечено: «что в автореферате практически не уделено внимание химическому составу геотермального теплоносителя. Учитывалось ли влияние примесей на характеристики потока?».

В отзыве профессора кафедры «Высшая математика» Ульяновского государственного технического университета (г. Ульяновск), д.ф.-м.н., профессора Вельмисова Петра Александровича сделано следующее замечание: «По автореферату имеется замечание, связанное с отсутствием обоснования

выбора длины расчетного участка (до 200 м) при выполнении расчета по компьютерной программе MODEL».

В отзыве профессора кафедры теоретической и математической физики, физико-технического факультета Северо-Кавказского федерального университета (г. Ставрополь) д.ф.-м.н., профессора Закиняна Роберта Гургеновича присутствуют четыре замечания: «1. Актуальность темы становится понятной только лишь после прочтения автореферата до конца, а не сначала текста. 2. То же относится к формулировке цели, в которой ожидалось услышать емкую формулировку проблемы и ее решение. То же относится к формулировке научной новизны. 3. В чем преимущества предлагаемого метода по сравнению с зарубежным аналогом? И почему данный метод имеет наименьшее расхождение с опытными данными по сравнению с зарубежным аналогом? 4. В чем выражается критерий гравитационной неустойчивости?».

В отзыве заведующего лабораторией тепломассопереноса, главного научного сотрудника Геологического института РАН (г. Москва), д.г.-м.н., профессора, заслуженного деятеля науки РФ Хуторского Михаила Давыдовича сделано следующее замечание: «при описании математических моделей, по мнению рецензента, не уделяется внимание вариативности таких параметров, как тепло- и температуропроводность геологической среды и теплоемкость флюида. Опыт предыдущих исследований теплофизических свойств камчатских месторождений парогидротерм показывает, что эти параметры меняются в зависимости от геологического строения коллекторов в 2-3 раза. Это, по-видимому, следовало бы рассмотреть на основе анализа фактического материала и учесть при создании моделей теломассопереноса в добычных скважинах».

В отзыве главного научного сотрудника лаборатории тепломассопереноса Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (г. Петропавловск-Камчатский), д.г.-м.н., профессора Кирюхина Алексея Владимировича сделано девять замечаний: «1. Термин «научные основы» надо конкретизировать. Речь идет вероятно об усовершенствовании управляющих уравнений пароводяных потоков в скважинах и трубопроводах. Если это так, то желательно пояснить, в чем изменились управляющие уравнения и их аппроксимация для семейства программ Well+ по сравнению с управляющими уравнениями и программой Debit (раздел 4.2, текст программы на стр. 148 в книге А.В. Кирюхин, В.М. Сугробов Модели теплопереноса в гидротермальных системах Камчатки, М. Наука 1987, 149 с). 2. Из автореферата неясно в какой мере управляющие уравнения (2-4) учитывались в алгоритме вычислений, учитывалась ли левая часть уравнения (3) (ускорение) или ею пренебрегалось в расчетах. 3. Не приводятся сведения по алгоритму вычислений и об исследованиях устойчивости вычислительной схемы относительно пространственно-временной сетки. Тестирование модели на данных по измерению уровня парообразования в Паужетских скважинах не является достаточным для распространения на целевой Мутновский резервуар с энтальпиями 1100-2600 кДж/кг, т.к. в Паужетских энтальпии не превышают 900 кДж/кг (это «подрывает» Защищаемое положение 1). 4. В настоящее время известно несколько десятков математических моделей и программ для описания пароводяных потоков в

скважинах. В автореферате есть упоминание только об одной из них (HOLA). См., например: R.A. Tonkin, M.J. O'Sullivan, J.P. O'Sullivan, A review of mathematical models for geothermal wellbore simulation, *Geothermics* Volume 97, 2021, 102255, <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2021.102255>. 5. Необоснованным является вывод об усилении закипания центрального участка Паужетского геотермального месторождения на основании одиночных расчетов понижений забойного давления в добычных скважинах табл. 3 (Защищаемое положение 4, 2-я часть), т.к. по общей совокупности данных Паужетское месторождение эксплуатируется в режиме прогрессирующего обводнения с понижением энтальпии добычных скважин (глава 12, рис. 12.5 в книге А.В. Кирюхин Геотермофлюидомеханика гидротермальных, вулканических и углеводородных систем // Санкт-Петербург: эко-Вектор ай-Пи, 2020. – 431 с.). 6. Доказательство того, что невозможна оценка фильтрационно-емкостных свойств резервуара по расчетам забойного давления добычных скважин (Защищаемое положение 5) - лишено смысла. Для оценки фильтрационно-емкостных свойств гидрогеологических резервуаров используются давления/уровни в наблюдательных скважинах (см.: Боровский Б.В., Самсонов Б.Г., Язвин Л.С. Методика определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек Недра, Москва, 1979 г., 326 стр.). Для геотермальных месторождений для калибровки моделей и оценки фильтрационно-емкостных свойств геотермальных резервуаров может быть дополнительно использована история эксплуатации по энтальпии и расходу добычных скважин (А.В. Кирюхин Моделирование эксплуатации геотермальных месторождений // Владивосток, Дальнаука, 2002, 216 с.). 7. В автореферате широко используется термин (понятие) «устойчивость» работы пароводяных скважин, которое, базируется на требовании выполнения условия положительного значения производной забойного давления по расходу (формула (9) в а\р). Но в действительности производная забойного давления $R_{заб}$ по расходу G для работающей скважины ($G=P_1*(P_{пл}-R_{заб})$) равна минус единица делить на индекс продуктивности P_1 , это отрицательная величина. 8. Некоторые формулы (1), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (12), (15), (16) приводятся без необходимых ссылок на их авторов. 9. В тексте а-р часто используется термин «критический поток». Есть ли в этом необходимость? Понятно, что испытания скважин на сопле Джеймса сопровождаются критическим истечением. А есть ли примеры эксплуатации добычных скважин с критическим истечением в сепаратор Мутновской ГеоЭС?».

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается соответствием профиля научных работ оппонентов и сотрудников ведущей организации направлению научных исследований диссертационной работы, обеспечением выполнения требований пунктов 22 и 24 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г.

Официальный оппонент Алхасов Алибек Басирович является известным ученым в области освоения геотермальных ресурсов, пользующимся заслуженным авторитетом в кругу специалистов в данной области. Его научные работы охватывают широкий круг проблем геотермии, включая изучение

рассматриваемых в диссертации теплофизических процессов при освоении геотермальных месторождений. За последние 5 лет им опубликовано 8 научных работ по темам исследований, близким к задачам, решаемым в диссертационной работе Чермошенцевой А.А.

Официальный оппонент Пашкевич Роман Игнатьевич является известным и заслуженным специалистом и учёным в области горной теплофизики, его научные исследования охватывают и вопросы освоения геотермальных месторождений. В публикациях освещены важные для защищаемой диссертации вопросы изучения изменения параметров добычных скважин в ходе эксплуатации геотермальных месторождений, а также влияния различных факторов на режим работы добычных геотермальных скважин. За последние 5 лет им опубликовано 10 научных работ по темам исследований, близким к задачам, решаемым в диссертационной работе Чермошенцевой А.А.

Официальный оппонент Половников Вячеслав Юрьевич – известный учёный в области математического моделирования теплофизических процессов, имеющих место в различных технологиях освоения геотермальных ресурсов. В том числе, им детально исследован процесс теплообмена геотермальной скважины с окружающими обводненными породами при наличии фазовых переходов. За последние 5 лет им опубликовано 10 научных работ по темам исследований, близким к задачам, решаемым в диссертационной работе Чермошенцевой А.А.

Выбор Акционерного общества «Всероссийский нефтегазовый научно-исследовательский институт имени академика А.П. Крылова», г. Москва, в качестве **ведущей организации** обосновывается наличием в структуре данной организации соответствующей исследовательской базы, а также специалистов-учёных, в том числе докторов наук, профессоров, продуктивно занимающихся научной деятельностью и характеризующихся публикационной активностью в области освоения геотермальных месторождений. В настоящее время данная организации активно вовлечена в процессы освоения геотермальных ресурсов Камчатского края, включая планы расширения масштабов освоения Мутновского месторождения, являющегося главным объектом исследования в диссертационной работе.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны научные основы описания гидргазодинамических процессов в добычных скважинах и системах наземной транспортировки, отвечающие современным запросам в развитии технологий освоения месторождений парогидротерм, включая обоснование базовых уравнений математических моделей и критериев устойчивости соответствующих процессов;

предложена гипотеза о неоднородности поля скоростей, распределения фаз и давлений в сечении канала при формировании критического потока для объяснения аномально высоких расходов критического истечения пароводяной смеси с высоким паросодержанием, а также оригинальная трактовка практически обнаруженных проблем при вводе в эксплуатацию скважин А-2 и

А3 Мутновского месторождения, основанная на новых представлениях об устойчивости режима работы пароводяных скважинах;

доказана перспективность использования новых представлений об устойчивости газожидкостного потока применительно к процессам пароводяного течения в добычных скважинах и системах наземной транспортировки на месторождениях парогидротерм.

Теоретическая значимость исследования заключается в том, что:

доказаны зависимость результатов опробования пароводяных скважин от условий течения вниз по потоку от устья и наличие стабилизирующего эффекта дросселирования потока вблизи устья на работу пароводяной скважины, расширяющие представления об устойчивости режима работы добычной скважины при освоении месторождений парогидротерм;

применительно к проблематике диссертации эффективно использован комплекс научных методов исследований: анализ отечественной и зарубежной литературы по предмету исследования, экспериментальные исследования пароводяных потоков на Мутновском и Паужетском месторождениях парогидротерм (Камчатка), теоретическое исследование, математическое и численное моделирование гидро-, газо- и термодинамических процессов в добычных скважинах и системах наземной транспортировки двухфазных геотермальных флюидов, натурные эксперименты для верификации разработанных расчетных моделей;

изложены положения о необходимости учета гравитационной неустойчивости потока при создании математических моделей течения в наземных трубопроводах пароводяной смеси и о влиянии технологии опробования скважин на полноту практически определяемых графиков их производительности;

раскрыты значимые проявления теории гравитационной неустойчивости газожидкостного потока, такие как наличие метастабильного течения в восходящем потоке и наличие части опытного графика производительности скважины в области высоких устьевых давлений и малых расходах, которая может не соответствовать устойчивой работе ее эксплуатации;

изучены связи гравитационной неустойчивости газожидкостного потока с ранее наблюдаемыми при испытаниях пароводяных скважин особенностями режима работы, не имевшими убедительных теоретических трактовок, включая поведение в крайних (экстремальных) областях графиков производительности (минимальные и максимальные расходы, минимальные и максимальные рабочие устьевые давления);

проведена модернизация существующих математических моделей пароводяного течения в добычных скважинах и наземных трубопроводах при освоении месторождений парогидротерм для изучения влияния гравитационной неустойчивости потока на режим работы системы добычи и транспортировки двухфазного флюида.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены математические модели для расчета пароводяных течений в добычных скважинах, охватывающие весь спектр возможных задач, отвечающих современному уровню технологий разработки месторождений парогидротерм (наклонные скважины, течение в области питающего пласта и т. д.), а также наземных трубопроводах, расширяющие возможности гидравлических расчетов по диапазону скоростей транспортировки и учету рельефа трассы, которые нашли широкое применение в Филиале ПАО «Камчатскэнерго» Возобновляемая энергетика и частично внедрены в АО «Тепло Земли»;

определены предельные значения водопроницаемости пласта, выше которых невозможно ее расчетное, с помощью соответствующих математических моделей, определение по данным измерений параметров на устье скважин для Паужетского (для энтальпии 800 кДж/кг – 90 м²/сут) и Мутновского (для энтальпии 1100 кДж/кг – 32 м²/сут) месторождений, а также установлено, что основным фактором изменения производительности добычных скважин Паужетского месторождения является снижение давления в термоводоносном комплексе (на 7–13 бар за время эксплуатации), которое сопровождается распространением зоны кипения на питающий коллектор и формированием в термоводоносном комплексе «паровых шапок», создающих опасность геотермальных взрывов;

созданы компьютерные программы, реализующие разработанные математические модели пароводяного течения в скважинах (комплекс программ WELL-4, охватывающий весь спектр возможных задач, отвечающих современному уровню технологий разработки месторождений парогидротерм) и наземных трубопроводах – MODEL (короткие трубы, ограниченный диапазон скоростей, отсутствие гидростатической составляющей), SWIP-S (короткие трубы, расширенный диапазон скоростей, наличие гидростатической составляющей) и SWIP-L (длинные трубы, расширенный диапазон скоростей, наличие гидростатической составляющей);

представлены методические рекомендации по проектированию геометрии трасс трубопроводов пароводяной смеси на геотермальных месторождениях и опробованию пароводяных скважин.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты получены с использованием штатного оборудования, используемого при разработке Мутновского и Паужетского месторождений парогидротерм, регулярно, согласно действующим нормативам, проходящего поверочные процедуры;

теория построена на базовых законах физики и опытных данных, подтвержденных независимыми исследованиями, включая данные, полученные на ранних этапах освоения Паужетского и Мутновского месторождений, и данные, полученные в процессе их многолетней разработки;

идея базируется на анализе практики разработки Паужетского и Мутновского месторождений, а также обобщении мирового опыта разработки аналогичных объектов;

использованы данные по экспериментальным работам и методам расчета пароводяного течения в геотермальных скважинах и системах наземной транспортировки из зарубежных открытых источников;

установлено, что разработанная в диссертационной работе модель течения в скважине позволяет в 2,5 раза снизить расхождение расчетного и опытного давления на глубине по сравнению с зарубежными аналогами.

Личный вклад соискателя состоит в:

разработке адекватных современным запросам научных основ моделирования пароводяных течений в добычных скважинах и системах наземной транспортировки на месторождениях парогидротерм;

создании математических моделей и компьютерных программ для расчета пароводяных течений в добычных скважинах и системах наземной транспортировки на месторождениях парогидротерм;

обосновании проектов реконструкции добычных скважин Мутновского месторождения с помощью созданных программ расчета течений в скважинах;

разработке рекомендаций по строительству и реконструкции системы транспортировки на Мутновском и Паужетском месторождениях на базе использования созданных программ расчета течений в наземных трубопроводах;

исследовании устойчивости режима работы добычных скважин на Мутновском и Паужетском месторождениях;

оценке возможности определения фильтрационных характеристик питающего пласта по данным измерений параметров на устье добычных скважин и динамики состояния термоводоносного комплекса Паужетского месторождения.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания: недостаточно детально обоснована экономия средств (180 млн. руб.) в связи с реконструкцией скважины А-2; следовало отметить среду разработки компьютерных программ и уделить больше внимания описанию вычислительных методов решения задач, определению сеточных параметров, погрешностей и пр.; практически не уделено внимание химическому составу геотермального теплоносителя и вариативности таких параметров, как тепло- и температуропроводность геологической среды и теплоемкость флюида; не указаны ограничения гидродинамических характеристик флюидов при их течении в стволах скважин и трубопроводах, исключаящие отложения солей кремния и их заносов; представленные в приложении акты, подтверждающие использование разработанных автором методик и компьютерных программ в практике освоения геотермальных месторождений Камчатки, следовало отметить в тексте диссертации и автореферата.

Соискатель Чермошнцева А.А. ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию, показав понимание сути исследуемой проблемы; с отдельными замечаниями соискатель согласилась.

На заседании 25 апреля 2025 г. диссертационный совет принял решение: за решение научной проблемы развития научно-методической базы моделирования гидргазодинамических процессов в добычных скважинах и системах наземной транспортировки добытого флюида на месторождения парогидротерм, имеющей

важное социально-экономическое значение для развития дальневосточных территорий Российской Федерации, присудить Чермошенцевой А.А. ученую степень доктора технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве **13** человек, из них **4** докторов наук по специальности 2.8.6. Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика, участвовавших в заседании, из **18** человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту **0** человек, проголосовали: за – **13**, против – **0**, недействительных бюллетеней – **0**.

Председатель
диссертационного совета

Учёный секретарь
диссертационного совета

25 апреля 2025 г.
МП



Рассказов Игорь Юрьевич

Корнеева Светлана Ивановна