ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.479.05, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «УФИМСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 16 октября 2025 г. № 14

О присуждении Каримовой Гульназ Римовне, гражданину РФ, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Теоретические исследования особенностей динамики упругих волн в средах с газогидратными отложениями» по научной специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы принята к защите 27 июня 2025 года (протокол заседания № 8) диссертационным советом 24.2.479.05, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский университет науки и технологий» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (450076, г. Уфа, ул. Заки Валиди, 32), приказ № 520/нк от 24.03.2023 г.

Соискатель Каримова Гульназ Римовна, 22 августа 1993 года рождения. В 2018 году соискатель окончила Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы» по направлению подготовки 44.04.01 - Педагогическое образование, профиль: Математическое образование с присвоением квалификации Магистр.

В 2024 году окончила аспирантуру по очной форме обучения Федерального государственного бюджетного научного учреждения "Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук" по направлению подготовки 01.06.01 Математика и механика, профиль: 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы с присвоением

квалификации "Исследователь. Преподаватель-исследователь". Диплом об окончании аспирантуры выдан Федеральным государственным бюджетным научным учреждением "Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук" в 2024 году.

Работает в должности младшего научного сотрудника лаборатории механики многофазных систем Института механики им. Р.Р. Мавлютова - обособленного структурного подразделения Федерального государственного бюджетного научного учреждения "Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук" Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена в лаборатории механики многофазных систем Института механики им. Р.Р. Мавлютова - обособленном структурном подразделении Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель - доктор физико-математических наук (1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы), доцент Галиакбарова Эмилия Вильевна, профессор кафедры информационных технологий и прикладной математики Высшей школы информационных и социальных технологий Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет".

Официальные оппоненты:

1. Никифоров Анатолий Иванович, доктор физико-математических наук (01.02.05 - Механика жидкости, газа и плазмы), профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки "Федеральный исследовательский центр "Казанский научный центр Российской академии наук", Институт механики и машиностроения - структурное подразделение, лаборатория математического моделирования процессов фильтрации, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией;

2. Ильясов Айдар Мартисович, кандидат физико-математических наук (01.04.14 - Теплофизика и теоретическая теплотехника), Общество с

ограниченной ответственностью "РН-БашНИПИнефть", отдел разработки проектов геомеханики и ГРП, главный специалист

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Тюменский государственный университет", г. Тюмень, в своем положительном отзыве, подписанном Курасовым Дмитрием Алексеевичем, кандидатом технических наук (05.02.18 - Теория механизмов и машин), заведующим кафедрой фундаментальной математики и механики Школы компьютерных наук, Татосовым Алексеем Викторовичем, доктором физико-математических наук (01.02.05 - Механика жидкости, газа и плазмы), профессором кафедры фундаментальной математики и механики Школы компьютерных наук, Игошиным Дмитрием Евгеньевичем, кандидатом физико-математических наук (01.02.05 - Механика жидкости, газа и плазмы), профессором кафедры фундаментальной математики и механики Школы компьютерных наук, и утвержденном Вдовиным Евгением Петровичем, доктором физико-математических наук, доцентом, проректором, указала, что диссертационная работа Каримовой Гульназ Римовны на тему «Теоретические исследования особенностей динамики упругих волн в средах с газогидратными отложениями» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук является завершенной научно-квалификационной работой. Диссертационная работа соответствует пп. 9-11, 13, 14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 (в редакции Постановления правительства РФ от 25.21.2024 г. № 62), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

Соискатель имеет 16 опубликованных работ. Из них 2 – в изданиях, включенных в базы данных Web of Science и Scopus, 1 – в журналах, входящих в базу данных RSCI, 13 – в изданиях, входящих в РИНЦ. Общий объем – 5,47 печ. л., авторский вклад – 2,76 печ. л.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Галиакбарова Э.В., Каримова Г.Р. Поверхностные акустические волны на границе двух пористых сред, насыщенных гидратом метана и водой

(льдом) // Прикладная механика и техническая физика. - 2024. - Т. 65, № 6. - С. 71-82.

2. Galiakbarova E.V., Karimova G.R., Rafikova G.R. Dynamics of Sonic Wave under Reflection and Transmission at the Interface of Water and Sand Saturated with Water or Gas Hydrate // Lobachevskii Journal of Mathematics. - 2023. - Т. 44, № 5. - С. 1621–1628.

3. Шагапов В.Ш., Рафикова Г.Р., Каримова Г.Р. Динамика волн Стоунли на границе "вода-насыщенный водой или газогидратом песок" // Инженерно-физический журнал. - 2022. - Т. 95, № 4. - С. 869-875.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Ведущей организации – Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Тюменский государственный университет", г. Тюмень. Отзыв положительный. Имеются замечания: 1) Глава 1 оформлена несколько небрежно: на стр. 15 (2-й абзац) и 19 (начало и конец 2-го абзаца) указаны оценочные запасы гидрата, хотя на самом деле это оценки запасов газа в гидрате, что в числовом выражении в СИ при стандартных условиях приводит к ошибке на порядок; на стр. 20 указано, что гидрат имеет температуру 83 К в пластовых условия; на стр. 25 объём газа выражен в квадратных метрах 10 раз в одном абзаце; на стр. 30 (1-й абзац) указана размерность модуля сдвига Гпа вместо ГПа (СИ), при этом динамический коэффициент вязкости приведён в технической системе единиц измерения. 2) Глава 2: на стр. 51 сказано: "Источник возбуждения волны расположен вдали от плоскости раздела", но не указано явно, что сверху; на стр. 57 приведённое значение диаметра зёрен песка d никак не меняет полученного в общем случае выражения для частот ω; на стр. 58 значения физических величин приведены с различной точностью - от одной до четырёх значащих цифр; на стр. 59, 61, 62 (рис. 2.1.2, 2.1.3, 2.1.4 соответственно) номера изображённых линий не указаны в подрисуночных подписях. Кроме того, на рис. 2.1.1 номера линий не соответствуют порядку слов в подписи; на стр. 60 (3-й абзац) приведена фраза "... приведёт к нарушению условий существования

волны Стоунли (их надрежет)", "Их" - это условий? В чём это выражается? на стр. 81 рис. 2.3.5 является схемой, поскольку отражает динамику сигнала схематично (оси не проградуированы). 3) Глава 3: Последнее замечание по 2-й главе также относится и к рис. 3.6 и 3.7 (стр. 98, 99).

2. Официального оппонента, доктора физико-математических наук, профессора, ведущего научного сотрудника, заведующего лабораторией математического моделирования процессов фильтрации Института механики и машиностроения - структурного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки "Федеральный исследовательский центр "Казанский научный центр Российской академии наук" Никифорова Анатолия Ивановича. Отзыв положительный. Имеются замечания: 1) Скорость звука в неоднородной среде (пористая среда, насыщенная газогидратом) находится исходя из равновесной модели акустики многофазных сред. Какие границы применимости этой модели? 2) На рис. 2.3.4 представлены кривые относительной скорости по (2.3.13) и относительной глубины проникновения по (2.3.10) волны горизонтальной поляризации в песок, насыщенный гидратом по числу b. График не должен иметь дискетный вид? Почему интересны только решения для нулевой моды волны горизонтальной поляризации? 3) При наклонном падении волны в воде на границу раздела с песком, насыщенным газогидратом возникают условия полного внутреннего отражения. Почему для водонасыщенного песка получаются другие акустические эффекты?

3. Официального оппонента, кандидата физико-математических наук, главного специалиста отдела разработки проектов геомеханики и ГРП Общества с ограниченной ответственностью "РН-БашНИПИнефть" Ильясова Айдара Мартисовича. Отзыв положительный. Имеются замечания: 1) Почему в диссертационной работе отражённые и проходящие волны имеют ту же частоту, что и падающая волна? Возмущения многофазной границы могут изменять частоту этих волн. 2) На стр. 54 в формуле (2.1.8) нет выражения для компоненты вектора перемещения Wy; это же касается компоненты тензора напряжений Pyz в формуле (2.1.9). 3) На стр. 54 в формулах (2.1.10), (2.1.11) нет условий непрерывности для компонент вектора перемещений Wx, Wy, а также компоненты тензора напряжений Pyz. Второе условие

(2.1.10) - тривиальное условие симметрии тензора напряжений. 4) На стр. 65 в формулах (2.2.4), (2.2.5) нет условий непрерывности для компоненты вектора перемещений Wy, а также компоненты тензора напряжений Pyz. 5) На стр. 67 не выписано окончательное дисперсионное уравнение (2.2.12). 6) На стр. 72 в формулах (2.3.5)-(2.3.7) нет условий непрерывности для компонент Wx, Wz, а также компонент тензора напряжений Pxz, Pzz. 7) Почему в главе 3 при рассмотрении наклонного падения волн на границу раздела не рассматриваются волны горизонтальной поляризации? Они гораздо проще для изучения и не образуют сложных конфигураций при прохождении в эффективную твёрдую среду - в этом случае проходящая волна не расщепляется на продольную и поперечную волну. 8) На стр. 85 в формулах (3.5)-(3.9) нет выражений для компоненты вектора перемещений Wy, а также компоненты тензора напряжений Pyz. Также для этих компонент и компоненты вектора перемещения Wx не выписаны условия непрерывности. 9) Стр. 92, первые 2 абзаца не соответствуют реальным данным для плотностей и скоростей звука, которые используются в разделе "Результаты расчётов". Кроме того, в последнем предложении п. 3.2 делается противоположный вывод. 10) Стр. 95, рис. 3.4. Коэффициенты отражения и прохождения продольной волны при нормальном падении волны ($\theta=0°$, поперечной волны нет) связаны соотношением Ml =1+Nl. Поскольку пористая среда является акустически более жёсткой, то Nl>0 и Ml>1. Но при $\theta=0$ на рис. 3.4 Ml<1. Это неверно, поэтому не вызывают доверия все графики на этом рисунке. 11) Стр. 96, рис. 3.5. При критическом угле падения ($\theta>45°$) имеется полное отражение от акустически более жёсткой среды и Nl=1. Почему при углах выше критического на рис. 3.5 угол сначала больше 2, а затем уменьшается. Также вызывает сомнения график для коэффициента прохождения поперечной волны. Что за пики и падения на рисунках а), б), в) в районе угла падения 30°? Почему в работе рассматривается только одно значение водонасыщенности S=0.2 и не строятся аналогичные параметры при других насыщенностях? 12) В работе нет сравнения результатов с результатами серии работ из списка литературы диссертационной работы [27-29, 32, 33] (А.А. Губайдуллин, О.Ю. Болдырева, Д.Н. Дудко), где рассматривается более детальная многофазная модель. В

представленной же диссертационной работе пористая среда (гидрато- и\или водонасыщенная) рассматривается как эффективное твёрдое тело с эффективной скорость звука и плотностью.

4. Кандидата физико-математических наук, старшего научного сотрудника, старшего научного сотрудника лаборатории волновой динамики многофазных систем Тюменского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук Болдыревой Ольги Юрьевны. Отзыв положительный. Имеются замечания: 1) Гидратосодержащая порода является многофазной средой, так как ее скелет состоит из зерен основной породы и гидрата, а в поровом пространстве могут присутствовать и вода, и газ. Не приведено обоснования, почему для решения задачи о распространении волн в такой среде достаточно использовать модель однофазной упругой среды. 2) Утверждение в выводе 2 о глубинах проникновения продольных и поперечных волн при распространении волны Стоунли является сомнительным, так как поверхностная волна является единым возмущением, ее разделение на продольную и поперечную части используется лишь в ее теоретическом описании. Поэтому для практической оценки глубины проникновения возмущения не следует разделять волну Стоунли на эти части, и необходимо рассматривать эту волну как единое возмущение. 3) Не вполне понятна возможность оценки толщины и гидратонасыщенности газогидратного слоя по отраженному сигналу, так как отраженный сигнал по форме повторяет начальное возмущение.

5. Кандидата физико-математических наук, доцента кафедры нефтегазовой и подземной гидромеханики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина" Кравченко Марины Николаевны. Отзыв положительный. Имеются замечания: 1) При описании математической модели (глава 2) для обозначения фаз применяются то верхние, то нижние индексы для идентификации одной и той же фазы, что требует отслеживания в тексте. Нет нумерации формул, поэтому сложно отслеживать последовательность их

трансформации и ссылок на предыдущие формулы или постановки. 2) В используемых для расчета уравнениях (глава 2) при описании средней плотности насыщенной газогидратной пористой среды (при наличии трех фаз: кварц, газогидрат и свободный метан) принята далее гипотеза о неизменности плотности свободного метана (истинная плотность свободного газа), что требует обоснования. 3) В описании экспериментов (глава 2), на которые ссылается автор, не приведена установка с датчиками регистрации параметров, что несколько затрудняет анализ полученных результатов и требует обращения к полному тексту диссертации.

6. Кандидата физико-математических наук, доцента, заведующего кафедрой прикладной информатики и программирования Стерлитамакского филиала Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Уфимский университет науки и технологий" Хасанова Марата Камиловича. Отзыв положительный. Имеются замечания: 1) Из автореферата не понятно существуют ли опубликованные экспериментальные данные, с которыми можно сопоставить результаты, представленные в данной работе? Проводилось ли сравнение с результатами других исследований, посвященных аналогичным задачам? 2) В работе основным объектом исследования является песок, насыщенный водой или газогидратом. В связи с этим возникают не отраженные в автореферате вопросы. Насколько критична привязка к именно этому типу пористой среды? Как изменится предложенная модель и полученные результаты, если в качестве пористой среды рассматривать, например, глину?

7. Доктора физико-математических наук, доцента, заведующего кафедрой аэрогидромеханики Института математики и механики им. Н.И. Лобачевского Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет" Поташева Константина Андреевича. Отзыв положительный. Имеются замечания: 1) Не указан личный вклад автора. 2) Недостатки формулировки положений, выносимых на защиту: п.1 - не хватает конкретики в формулировке "теоретические построения"; п. 2 - защищаемым положением являются не "результаты расчетов", а полученный на их основе конкретный научный результат - в

данном случае, это, видимо, "зависимость эволюции волн возмущения давления..."; здесь же - "Проводится сравнение..." - положение это не процесс. 3) Не указано, почему в задаче п. 2.3 на границе z=-h ставится условие нулевых касательных напряжений. 4) Отмечено, что можно использовать результаты исследований при установке датчиков, но не указано, как именно. 5) Было бы ценно привести оценки чувствительности предложенного способа определения толщины гидратонасыщенного песка к погрешности исходных данных, а также указать возможности учета криволинейности поверхностей раздела и анизотропии среды.

8. Доктора физико-математических наук, профессора РАН, главного научного сотрудника лаборатории синтеза новых материалов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения РАН Чернова Андрея Александровича. Отзыв положительный. Имеются замечания: 1) На рисунках 2-4 продемонстрировано, что динамика распространения акустических волн существенно различается в зависимости от насыщения пористой среды водой или газогидратом. Однако представленное обсуждение ограничивается констатацией данного факта па основе численных расчетов. Для повышения научной ценности работы было бы целесообразно дополнить исследование детальным физическим обоснованием и анализом причин, обусловливающих наблюдаемые различия в характере волнового поля. 2) Отмечу, что целесообразно было бы более подробно раскрыть обоснование интерпретации величины st(2) (стр. 14) в качестве коэффициента затухания, поскольку из представленного текста данное утверждение не является очевидным и требует дополнительного пояснения. 3) Насколько результаты проведенного исследования, в частности характеристики акустического волнового. поля, будут чувствительны к изменению типа газогидрата, например, а при замене гидрата метана на гидрат углекислого газа? Какие физические свойства. гидратов (плотность, модули упругости, условия стабильности) будут являться ключевыми факторами, определяющими эту разницу? 4) Результаты численного моделирования, представленные в работе, демонстрируют сложную динамику волновых полей. Однако для оценки их достоверности и точности представляется необходимым более

подробное обсуждение вопроса валидации предложенной модели. За исключением данных на рис. 2, в статье отсутствует сравнение с натурными или лабораторными экспериментальными данными. Было бы крайне полезно уточнить, возможно ли в принципе проведение такого сопоставления (хотя бы качественного) для рассмотренных случаев, или же в литературе на данный момент отсутствуют необходимые для этого репрезентативные экспериментальные сведения.

9. Доктора физико-математических наук, старшего научного сотрудника, профессора кафедры эксплуатации механических установок Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова" Бушланова Владимира Петровича. Отзыв положительный. Имеются замечания: 1) В уравнениях на стр.7 должна присутствовать объемная доля газогидрата (или воды) в единице объема газогидратной среды. 2) В первом уравнении на стр. 7 должен быть член, учитывающий изменение скорости звука при прохождении волны так как dp(w)=C0(w)^2*drho(w)+drho0(w)*dC(w)^2.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой профессиональной квалификацией, наличием публикаций по проблематике, связанной с темой диссертации, компетенцией в вопросах, имеющих отношение к теме работы. Ведущая организация и оппоненты не имеют совместных проектов и публикаций с соискателем.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

– предложена оценка толщины гидратонасыщенного песка по некоторой характерной частоте, при которой длина волны Стоунли будет сравнима с толщиной гидратонасыщенной области песка в придонной зоне, и произойдет ее вырождение;

– получено, что при распространении волны Стоунли глубина проникновения поперечных волн примерно в два раза превосходит глубину проникновения продольных волн в гидратонасыщенный песок.

– установлено, что при распространении плоской гармонической поверхностной волны горизонтальной поляризации под водой между слоем

водонасыщенного песка толщины h и гидратонасыщенным песком при длине волны λ, λ<<h происходит локализация волны в водонасыщенном слое песка, а при λ>>h – волна распространяется без заметного снижения амплитуды по слою водонасыщенного песка, который становится волновым каналом для прошедшей поперечной волны;

– найдено условие для угла падения волны, при котором проявляются волноводные свойства в гидратонасыщенном песке для прошедшей поперечной волны;

– найдено условие для критического угла падения волны, при котором область водонасыщенного песка будет полностью "непрозрачной".

Теоретическая значимость полученных соискателем результатов исследования заключается в том, что на основе уточнённой теоретической модели динамики волны вдоль плоской границы раздела и при наклонном падении на гидратонасыщенную пористую среду показана возможность: 1) оценки толщины гидратонасыщенного песка по выявленным особенностям динамики поверхностных волн вертикальной и горизонтальной поляризации на плоских границах «вода – песок, насыщенный водой или/ и газогидратом»; 2) формирования волнового канала для поперечных волн в водо-, гидратонасыщенном песке.

Практическая значимость исследования заключается в том, что полученные результаты позволяют расширить представления о волновой разведке гидратосодержащих песчаных пород. Рекомендовано проводить обследование придонного песчаного грунта в сейсморазведке на наличие газогидратов при переменных углах падения акустической волны и предусмотреть аппаратуру, регистрирующую не только продольные волны, но и поперечные волны в песчаном грунте.

Оценка достоверности результатов исследования обоснована применением фундаментальных уравнений механики сплошных сред, акустики, корректной постановкой физико-математических задач, которые согласуются с результатами экспериментальных лабораторных данных.

Личный вклад соискателя состоит в разработке алгоритма решения, программирования и численная реализация задачи, обработка и оформление результатов, подготовка части публикаций проведены автором

самостоятельно. Совместно с научным руководителем произведена постановка задач и анализ полученных результатов.

В ходе защиты диссертации было высказано замечание, что в первом пункте научной новизны говорится об уточнении теоретической модели, однако в докладе четко не прозвучало в чем именно она состоит. С этим замечанием соискатель Каримова Г.Р. согласилась, пояснив, что уточнение модели заключается в учете упругих свойств пористой среды (песка), насыщенной газогидратом с эффективной плотностью с использованием экспериментальных данных зависимостей скоростей продольных и поперечных волн от величины насыщенности.

На заседании 16 октября 2025 г. диссертационный совет принял решение: за развитие теоретических основ акустической диагностики газогидратных отложений в песчаниках на основе анализа динамики упругих волн присудить Каримовой Гульназ Римовне ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 12 человек, из них 6 докторов физико-математических наук по профилю рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 17 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 11, против – 1.

Заместитель председателя
диссертационного совета
д.т.н., проф. Валиуллин Рим Абдуллович

Ученый секретарь
диссертационного совета
к.ф.-м.н., доц. Киреев Виктор Николаевич

16 октября 2025 г.