

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 05 октября 2023 г. № 10

О присуждении Мамаевой Зилие Заитовне, гражданину РФ, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Теоретическое исследование собственных колебаний столба жидкости в скважине для определения коллекторских характеристик пласта» по специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы принята к защите 6 июля 2023 года (протокол заседания № 6) 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. З. Валиди, 32, приказ о создании совета № 520/нк от 24.03.2023 года.

Соискатель Мамаева Зилия Заитовна, 16 июля 1995 года рождения. В 2019 году соискатель окончила Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный университет» по направлению подготовки 01.04.01 Математика, профиль: Дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление с присвоением квалификации Магистр.

Работает в должности младшего научного сотрудника лаборатории механики многофазных систем Института механики им. Р.Р. Мавлютова –

обособленном структурном подразделении Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена в Институте механики им. Р.Р. Мавлютова – обособленном структурном подразделении Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, Башмаков Рустэм Абдрауфович, доцент кафедры математического анализа Института информатики, математики и робототехники Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский университет науки и технологий».

Официальные оппоненты:

1. Морозов Петр Евгеньевич, доктор физико-математических наук (1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы), Институт механики и машиностроения – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», лаборатория подземной гидродинамики, старший научный сотрудник;

2. Давлетбаев Альфред Ядгарович, кандидат физико-математических наук (01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы), доцент, ООО «РН-БашНИПИнефть», управление по моделированию и анализу исследований скважин и пластов, начальник управления.

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Уфа, в своем положительном отзыве, подписанном Зейгманом Юрием Вениаминовичем,

доктором технических наук (25.00.17 – Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений), профессором, заведующим кафедрой «Разработка и эксплуатация нефтяных и газонефтяных месторождений», Сагитовым Дамиром Камбировичем, доктором технических наук (25.00.17 – разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений), доцентом, доцентом кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газонефтяных месторождений», Малышевым Виктором Леонидовичем, кандидатом физико-математических наук (01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы), доцентом, доцентом кафедры «Разработка и эксплуатация газовых и газоконденсатных месторождений» и утвержденном проректором по научной и инновационной работе, доктором технических наук, профессором Ибрагимовым Ильдусом Гамировичем, указала, что диссертационная работа является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи собственных колебаний столба жидкости для определения коллекторских характеристик пласта. Результаты работы имеют научную и практическую значимость. Диссертационная работа по актуальности, научной новизне, основным положениям, научной и практической значимости и достоверности, по содержанию и оформлению полученных результатов соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Мамаева Зилия Заитовна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы.

Соискатель имеет 11 опубликованных работ. Из них 2 в научных изданиях, индексируемых в международных базах данных Web of Science, Scopus, zbMath; 1 – в журнале, входящем в базу данных RSCI; 8 – в изданиях, входящих в РИНЦ.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных

соискателем ученой степени работах.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Шагапов, В.Ш. Затухающие собственные колебания жидкости в скважине, сообщающейся с пластом / В.Ш. Шагапов, Р.А. Башмаков, Г.Р. Рафикова, З.З. Мамаева // Прикладная механика и техническая физика. – 2020. – Т. 61, № 4 (362). – С. 5–14.

2. Рафикова, Г.Р. Влияние параметров призабойной зоны скважины на собственные колебания столба жидкости в насосно–компрессорной трубе / Г.Р. Рафикова, З.З. Мамаева // Вестник Самарского университета. Естественная серия. – 2021. – Т. 27, № 2. – С. 70–79. 22 2.

3. Шагапов, В.Ш. Анализ коллекторских характеристик призабойной зоны пласта, подверженного гидравлическому разрыву по собственным колебаниям столба жидкости в скважине / В.Ш. Шагапов, Г.Р. Рафикова, Р.А. Башмаков, З.З. Мамаева // Инженерно-физический журнал. – 2023. – Т. 96, № 2. – С. 281–288.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Ведущей организации – Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет». Отзыв положительный.

Имеются замечания: 1) В диссертационной работе представлены результаты исследования, по которым возможно провести оценку наличия или отсутствия трещины ГРП. Однако, в промышленной практике данный факт фиксируется прямым методом на манометрах обвязки обору давания для ГРП и нет необходимости подтверждать это математически. 2) Для подтверждения полученных результатов недостаточно средств расчета геометрии трещины ГРП (высоты, ширины трещины). 3) Пункт первый новизны. Математическая модель, построенная без учета колонны НКТ, и без учета пакера, не имеет

особой промысловой ценности, так как без погружного оборудования условия инициации трещины ГРП в обсадной колонне создавать опасно и не экологично. 4) Второй пункт новизны. Пренебрежение вязкостью в расчетах делает результаты, на этой стадии исследования автора, условными, предварительными и представляющими лишь теоретическую ценность. 5) Создание физической модели трещины ГРП (стенда) с целью проверки математической модели позволило бы выявить недостатки полученной модели и оценить критически важные факторы, влияющие на результаты расчета. 6) Представленное название работы «Теоретическое исследование собственных колебаний столба жидкости в скважине для определения коллекторских характеристик пласта» предполагает решение обратных задач, которые позволяют определить коллекторские свойства пласта (например, проницаемость) на основе анализа собственных колебаний столба жидкости в скважине. В работе же представлены решения только прямой задачи, где по заданному значению проницаемости пласта вычисляются характеристики колебаний столба жидкости. 7) В диссертационной работе (стр. 49) граничные условия на границе «скважина-пласт» задаются выражениями:  $P_{r=a} = P_1$ ,  $P_{r=\infty} = 0$ . Что обозначает условие равенства нулю давления на большом расстоянии от скважины? В классической постановке граничных условий для уравнения упругого режима:  $P_{r=\infty} = P_{пл}$ , где  $P_{пл}$  – пластовое давление. 8). В работе говорится о проведении численных расчетов, однако автором не раскрывается информация о том, как эти расчеты проводились (использовалось специальное ПО, написанный самостоятельно алгоритм численного решения и т.д.). 9) На рис 2.11 (стр. 64) приведены осциллограммы давления с датчиков D1, D2, D3. В соответствии с содержанием данного раздела полученные результаты, по мнению рецензента, являются расчетными. Хотя по формулировке «давление с датчиков D1, D2, D3» создается ощущение, что был проведен эксперимент в скважине с определением собственных колебаний. Нужно пояснение, как данные результаты в итоге были получены. 10) На рис. 3.2.1 (стр. 86) представлена схема скважины. В соответствии с предыдущими

обозначениями (рис. 2.1, стр. 47)  $a$  – радиус скважины. Тогда не ясно, что обозначено за  $a_c$  - радиус насосно-компрессорных труб? Если речь идет о трещине ГРП, то где параметр полудлины трещины? Учитывается ли он? В постановке задачи этого не видно. 11) В заключении вывод 5 (стр. 108 диссертации) практически идентичен результатам работы, которые опубликованы в статье Байков В.А., Булгакова Г.Т., Ильясов А.М., Кашапов Д.В. К оценке геометрических параметров трещины гидроразрыва пласта // Известия РАН. Механика жидкости и газа. – 2018. – №5, С.64-75. В чем заключается вклад автора в представленные результаты по этому пункту? 12) Практическая значимость работы (стр. 8) предполагает определение параметров трещины ГРП и технологии определения коллекторских характеристик пласта и диагностики технического состояния скважин. В работе практическая значимость раскрыта очень слабо.

2. Официального оппонента, доктора физико-математических наук, старшего научного сотрудника лаборатории подземной гидродинамики Института механики и машиностроения – обособленного структурного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук» Морозова Петра Евгеньевича. Отзыв положительный.

Имеются замечания: 1) В работе для описания движения жидкости в стволе скважины вследствие гидроудара используются уравнения сохранения массы и импульса «в линеаризованном приближении». В диссертации не приводятся предположения, при которых получены эти уравнения. 2) В главе 3 при решении задачи о собственных колебаниях столба жидкости в вертикальной скважине, несовершенной по степени вскрытия, используется модель плоскорадиальной фильтрации жидкости в пласте. Данное предположение требует дополнительного обоснования, так как в окрестности несовершенной скважины фильтрация жидкости имеет более сложный пространственный характер. 3) Система уравнений (3.2.3), (3.2.4), описывающая одновременно

радиальный режим фильтрации жидкости в пласте и билинейный режим фильтрации в системе «пласт-трещина ГРП», записана с опечатками. 4) Во всех численных расчетах в качестве жидкости принята вода. Было бы желательно помимо проницаемости пласта и проводимости трещины ГРП исследовать влияние вязкости нефти на динамику давления в скважине и призабойной зоне.

3. Официального оппонента, кандидата физико-математических наук, доцента, начальника управления по моделированию и анализу исследований скважин и пластов Общества с ограниченной ответственностью «РН-БашНИПИнефть» Давлетбаева Альфреда Ядгаровича. Отзыв положительный.

Имеются замечания: 1) Колебательный режим, как правило, диагностируется при операции гидравлического разрыва пласта. На практике наибольшее количество промысловых данных с гидравлическим ударом имеет место при развитии геометрии трещины ГРП. Представленная постановка задачи не учитывает процесс образования, развития и изменение геометрических параметров трещины. 2) Постановка задачи в третьей главе с трещиной ГРП предполагает наличие трещины с бесконечной длиной. Однако на практике длина трещин конечная, составляет в среднем 100 м. При характерных фильтрационных свойствах трещины возмущение до конца трещины доходит в среднем за 1 час. 3) В работах Cinco-Ley 1978 г. показано, что в скважине с трещиной ГРП имеет последовательность из нескольких режимов течения. Сначала реализуется линейный режим течения в трещине, далее билинейный режим, затем снова линейный к границе «трещина-пласт», на более поздних временах псевдорadiальный режим течения и влияние границ пласта. Постановка задачи в данной работе предполагает наличие только одного билинейного режима течения. Поэтому, стоит привести границы применимости данной модели.

4. Кандидата физико-математических наук, старшего научного сотрудника Тюменского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной механики

им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук  
Бородина Станислава Леонидовича. Отзыв положительный. Замечания:

1) Допустимо ли рассматривать случай, когда пласт имеет бесконечную проницаемость ( $k_p \rightarrow \infty$ )? Не выходит ли такое рассмотрение за границы применимости используемой математической модели? 2) В разделе «Основные результаты и выводы» нет описания возможных причин наблюдаемых закономерностей. Написано: «установлено ..., наблюдается ..., выявлено ...», но нет слов: «это связано с ..., причиной этого является ...». 3) Имеется ряд недостатков при оформлении автореферата диссертации. Так в подписях к рис. 1 и 8 нет пояснения использованных на этих рисунках обозначений. Не приведены основные допущения математических моделей. В подписях к уравнениям описаны не все физические величины, например,  $\rho_0$  и  $\rho_1$ ; изменяется ли плотность жидкости, и как это отражено в уравнениях?

5) Кандидата технических наук, заведующего лабораторией кинетических процессов в газах Научно-исследовательского института механики – обособленного структурного подразделения Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова Левашова Владимира Юрьевича. Отзыв положительный. Замечания: 1) Представляется, что термин «открытого участка» немного вводит в заблуждение читателя. Как следует далее из текста автореферата, открытым называется участок, контактирующий с пористым пластом, а не находящимся на координате  $z=0$ . На стр. 13 автореферата эта область носит другое название – призабойная зона. В этой связи не вполне понятно, каким способом может быть организован гидроудар в результате которых возникают собственные колебания столба жидкости. 2) В граничных условиях для уравнения упругого режима фильтрации в пласте вокруг скважины присутствует координата  $r$ . На рисунке эта координата отсутствует. 3) Судя по тексту автореферата, при анализе не учитывалось изменение температуры жидкости. Из текста неясно насколько необходим данный учет. 4) Неясно, из каких соображений (или литературных данных) выбирались пределы изменения коэффициента проницаемости. 5) На странице 10

автореферата отмечается: «На рис. 3 приведены осциллограммы датчиков D1, D2, D3, расположенных на скважине в точках с координатами  $z = 0, 750, 1500$  м». В тоже время, как следует из подписи к рис. 3, на рисунке приведены результаты расчетов при различных значениях проницаемости. Неясно о каких датчиках идет речь. 6) Из текста автореферата неясно, чем свойства зоны перфорации отличается от свойств пористого пласта. 7) На стр. 16 автореферата приводятся данные по колебаниям давления после остановки закачки жидкости ГРП на забое (а), на устье (б) скважины. Было бы удобным для читателя и для анализа данных рис. 11, если бы были указаны координаты  $z$  и  $r$  этих точек.

6. Кандидата физико-математических наук, главного специалиста отдела экспертизы и методического обеспечения моделирования разработки ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» Хисматуллиной Фариды Сабигияровны. Отзыв положительный. Замечания: 1) Отсутствует сравнение полученных результатов в первой и во второй главе. В заключении диссертационной работы не приведены выводы о влиянии зоны перфорации на динамику собственных колебаний. 2) В работе не приведены рекомендации об оценке основных параметров трещин, а именно, длины и ширины трещины, что могло бы сделать исследование более интересным и практически значимым.

7. Доктора физико-математических наук, 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. Замечания: 1) В постановке решаемых задач не приведены начальные условия; как математически описывается резкое закрытие скважины, течения в которой в начальный момент времени не происходит (стр.7)? 2) Не указан способ вычисления входящих в законы сохранения массы в призабойной зоне пласта скоростей фильтрации. 3) Явное сопоставление результатов моделирования с

промышленными данными (рис. 9) с оценкой их количественного совпадения не приведено.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается соответствием их профиля и опытом работы по механике жидкости, газа и плазмы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- **разработаны** теоретические модели собственных колебаний столба жидкости для гидродинамически совершенной и несовершенной по характеру вскрытия скважины, для скважины, в которой произведен гидравлический разрыв пласта с целью определения коллекторских характеристик пласта;

- **предложена** методика исследования коллекторских характеристик пластов и трещины ГРП по динамике собственных колебаний столба жидкости в скважине в зависимости от параметров скважины и окружающей среды;

- **получены** численно-аналитические решения для возмущения давления и скорости колебаний в скважине, пласте и трещине ГРП; трансцендентные уравнения на основе теоретических моделей для нахождения комплексных частот собственных колебаний;

- **показана** перспективность использования построенных математических моделей, для разработки новых методов диагностики;

- **установлено**, что динамика собственных колебаний столба жидкости и время затухания возмущений зависят от геометрических параметров скважины и коллекторских характеристик пласта и трещины ГРП;

- **применены** аналитический и численный методы решения.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использованы** фундаментальные уравнения механики сплошной среды и гидродинамики;

- **раскрыты** качественные и количественные особенности эволюции

акустической волны в скважине, пласте и трещине ГРП во время резкого изменения давления и скорости жидкости;

– **изучено** влияние физических параметров скважины, коллекторских характеристик пласта и трещины ГРП на динамику собственных колебаний столба жидкости в вертикальной скважине;

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

– **определены** перспективы применения полученных и исследованных моделей для получения качественной и количественной оценки основных параметров (длины и ширины) трещины ГРП, коллекторских характеристик пласта и диагностики технического состояния нефтедобывающих скважин;

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

– **исследование основано** на фундаментальных уравнениях механики жидкости и газа, а также в тщательном анализе научных и практических исследований отечественных и зарубежных авторов;

– **установлено**, что результаты, полученные в диссертационной работе, согласуются с современными физическими представлениями.

Личный вклад соискателя состоит в:

– участии соискателя в постановке задач и проведении всех этапов исследования;

– проведении автором лично численной реализации моделей, расчетов, анализа и оформления численных результатов;

– подготовке основных публикаций по выполненной работе.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие замечания: В ходе решения третьей задачи, где рассматривалась скважина с трещиной ГРП, необходимо было в призабойной зоне учитывать зону перфорации. Данное введение могло бы сделать исследование более интересным и практически значимым.

Соискатель Мамаева З.З. согласилась с замечанием и отметила, что в работе рассматривалась иная ситуация, но, вполне возможно и более

детальное рассмотрение.

На заседании 05 октября 2023 года диссертационный совет принял решение: за разработку и развитие математических моделей, исследование собственных колебаний столба жидкости в скважине для определения коллекторских характеристика пласта и трещины ГРП, имеющих важное значение для развития теоретических представлений в области механики сплошных сред, присудить Мамаевой Зилие Заитовне 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 18 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 12, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председательствующий

заседания

д.ф.-м.н., профессор



Шарафутдинов Рамиль Файзырович

Ученый секретарь

диссертационного совета

к.ф.-м.н., доцент

Киреев Виктор Николаевич

05 октября 2023 г.