

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 14 декабря 2023 г. № 14

О присуждении Фокеевой Нине Олеговне, гражданину РФ, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Фильтрация в трещине гидроразрыва пласта при различных режимах работы скважины» по научной специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы принята к защите 5 октября 2023 года (протокол заседания № 11) 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 Фокеева Нина Олеговна, 16 сентября 1995 года рождения. В 2019 году соискатель окончила Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный университет» по направлению подготовки 01.04.02 Прикладная математика и информатика, профиль: Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ с присвоением квалификации Магистр. В 2023 г. окончил аспирантуру по очной форме обучения Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук по направлению подготовки 01.06.01 Математика и механика, профиль:

Механика жидкости, газа и плазмы с присвоением квалификации «Исследователь. Преподаватель-исследователь». Диплом об окончании аспирантуры выдан Федеральным государственным бюджетным научным учреждением Уфимским федеральным исследовательским центром Российской академии наук в 2023 г.

Работает в должности старшего специалиста отдела сопровождения проекта ТиТ (ТиТ – месторождения им. Р. Требса и А. Титова) Общества с ограниченной ответственностью «РН-БашНИПИнефть» Публичного акционерного общества «Нефтяная компания «Роснефть».

Диссертация выполнена в лаборатории «Механика многофазных систем» Института механики им. Р.Р. Мавлютова – обособленного структурного подразделения 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. Шамсиев Марат Назмиевич, доктор технических наук (01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы), доцент, академик РАЕН, Институт механики и машиностроения – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», лаборатория подземной гидродинамики, ведущий научный сотрудник;

2. Малышев Виктор Леонидович, кандидат физико-математических наук (01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы), доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический

университет», кафедра «Разработка и эксплуатация газовых и нефтегазоконденсатных месторождений», доцент

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет», г. Самара, в своем положительном отзыве, подписанном Астафьевым Владимиром Ивановичем, доктором физико-математических наук (1.1.8. Механика деформируемого твердого тела), профессором кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений, Ковалевой Галиной Анатольевной, кандидатом технических наук (2.8.4. Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений), заведующим кафедрой разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений, Зиновьевым Алексеем Михайловичем, кандидатом технических наук (2.8.4. Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений), секретарем кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений и утвержденном первым проректором – проректором по научной работе Ненашевым Максимом Владимировичем, указала, что диссертационная работа является законченным исследованием, полученные результаты имеют научно-практическую значимость. Диссертационная работа Фокеевой Нины Олеговны по актуальности, новизне, основным положениям, научной, практической значимости полученных результатов соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

Соискатель имеет 17 опубликованных работ. Из них 1 в научном издании, индексируемом в международных базах данных Scopus и Web of Science; 2 – в журналах, входящих в базу данных RSCI, 14 – в изданиях, входящих в РИНЦ. Общий объем – 5,44 печ. л., авторский вклад – 1,96 печ. л. Получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Shagapov V.S., Bashmakov R.A., Fokeeva N.O., Shammatova A.A. Evolution of Filtration Pressure Waves in a Hydraulic Fracture during Transient-Well-Operation Modes // Mathematics. – 2023. V. 11, No. 1. 98.
2. Башмаков Р.А., Фокеева Н.О., Шагапов В.Ш. Давление и дебит при переходных режимах работы скважины с вертикальной трещиной гидроразрыва // Прикладная математика и механика. 2022. – Т. 86, № 6. – С.998-1012.
3. Башмаков Р.А., Фокеева Н.О., Шагапов В.Ш. Особенности фильтрации флюидов в коллекторах, подверженных гидроразрыву пласта, при переходных режимах работы скважины // Прикладная механика и техническая физика. – 2022. – Т.63, №3. – С.117-127.
4. Фокеева Н.О., Шамматова А.А. К моделированию работы скважины с трещиной ГРП // Вестник Башкирского университета. – 2023. – Т. 28, № 1. – С.10-14.
5. Шагапов В.Ш., Башмаков Р.А., Фокеева Н.О., Шамматова А.А. Динамика давления жидкости в трещине гидроразрыва при изменяющихся режимах работы скважины // Многофазные системы. – 2022. – Т.17, № -2. – С.113-121.

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 «Самарский государственный технический университет». Отзыв положительный.

Имеются замечания: 1) Есть ли зарегистрированные патенты или компьютерные программы? 2) В диссертации речь идет только о пропантном ГРП? 3) В работе в качестве фильтрующей жидкости рассматривается вода. При сопоставлении решений с практическими данными используются свойства нефти. Параметры нефти и воды отличаются достаточно сильно. Не ведет ли это к искажению результатов? 4) Уфимская реологическая школа учит, что во многих случаях вязкость перестает быть стационарной.

Следовало бы учесть в модели, что при реальных условиях, когда по трещине фильтруется нефть, вязкость может стать переменной и влиять на параметры. Для развития работы в дальнейшем рекомендуется учесть изменение вязкости.

2. Официального оппонента, доктора технических наук, доцента, ведущего 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» Шамсиева Марата Назмиевича. Отзыв положительный.

Имеются замечания: 1) В диссертации приводится аналитическое решение задачи фильтрации к вертикальной скважине с трещиной ГРП для билинейного режима при заданном законе изменения забойного давления, а также при заданном законе изменения дебита. Можно было привести сравнение с решением других авторов при постоянном забойном давлении и постоянном дебите скважины. 2) Уравнение сохранения массы жидкости в трещине ГРП (2.1) записано с опечаткой. 3) В диссертации приведено выражение (3.10) для определения проводимости трещины ГРП по данным изменения забойного давления. Но в диссертации не приведена процедура определения проводимости по этой формуле и как выбирается параметр  $\tau$ .

3. Официального оппонента, кандидата физико-математических наук, доцента, доцента кафедры «Разработка и эксплуатация газовых и нефтегазоконденсатных месторождений» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет» Малышева Виктора Леонидовича. Отзыв положительный.

Имеются замечания: 1) На странице 27 приведена формула Дюпюи, однако размерности параметров, входящих в уравнение, указаны в промысловых единицах (атм, мД, сП, м<sup>3</sup>/суг), что некорректно. В представленном виде формула верна для случая метрической системы СИ (Па, м<sup>2</sup>, Па·с, м<sup>3</sup>/с), а не промысловой. 2) В разделе 1.5 отмечается:

«...интерпретация данных ГДИ для скважин с трещинами ГРП обычно проводится с использованием метода типовых кривых». Следует отметить, что основным методом интерпретации результатов ГДИ сегодня является анализ диагностических графиков, основанных на вычислении производной Бурде в логарифмическом масштабе, а не метод типовых кривых. 3) На рисунке 2.10 изображен расход жидкости при П-образном профиле изменения давления. В этом случае на графике 2.10 отмечается разрыв функции при  $t=1$  и резкое изменение направления фильтрационного потока жидкости, что требует пояснения автора. 4) В разделе 4.1 для системы уравнений заданы следующие условия: - начальные условия  $P_f|_{t=0} = P_p|_{t=0} = 0$ ; - граничные условия  $P_f = P_p|_{y=0} = 0$ ,  $P_p|_{y=\infty} = P_p|_{x=0} = 0$ . Что означает нулевое давление? Если в данной постановке используются переменные, то это следовало бы отметить в тексте диссертации. 5) В работе отмечается возможность применения представленного подхода в качестве метода интерпретации ГДИС для определения параметров трещины. Хотелось бы видеть сопоставление применения специализированных программных продуктов (например, Мониторинг ГДИС, РН-ВЕГА, КАРРА Saphir) для определения фильтрационных характеристик пласта с результатами на основе предложенной методики. 6) В диссертационной работе используется термин «пористость трещины», что подразумевается под этим термином? Это доля пустотного пространства, созданная трещинами в горной породе, или искусственная пористая среда, созданная пропантом в трещине ГРП? 7) К диссертационной работе есть ряд технических замечаний: а) На рисунке 2.6 представлено двухступенчатое изменение забойного давления с 5 МПа до 10 МПа, хотя при описании рисунка 2.6 говорится об изменении забойного давления с 10 МПа до 20 МПа. б) в скважине может быть замерено следующее давление: устьевое, забойное, буферное, затрубное, трубное, в интервала перфорации и т.д. По этой причине использование терминов «давление скважины» и «промысловое давление скважины» не рекомендуется, т.к. не позволяет получить информацию о точке замера давления.

4. Кандидата технических наук, эксперта отдела сопровождения проекта ТИГ Общества с ограниченной ответственностью «РН-БашНИПИнефть» Абдуллина Валерия Маратовича. Отзыв положительный. Замечания отсутствуют.

5. Доктора физико-математических наук, доцента, профессора кафедры информационных технологий и прикладной математики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет» Галиакбаровской Эмилии Вильевны. Отзыв положительный. Замечания отсутствуют.

6. Кандидата технических наук, генерального директора Общества с ограниченной ответственностью «Фрак Градиент» Кашапова Дениса Вагизовича. Отзыв положительный. Имеются замечания: 1) В постановке задачи говорится, что пласт однородной, насколько это соответствует практике. 2) Опечатка в (2.1) в диссертации.

7. Доктора физико-математических наук, профессора кафедры информационных технологий и систем управления Института радиоэлектроники и информационных технологий – РТФ Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» Просвирякова Евгения Юрьевича. Отзыв положительный. Замечания отсутствуют.

8. Доктора технических наук, исполнительного директора Общества с ограниченной ответственностью «Терра-инвестиции», заведующего кафедрой ТРИЗ Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина» Стрижнева Кирилла Владимировича. Отзыв положительный. Имеются замечания: в своей работе автор не учел влияние перфорационных каналов и/или отверстий в муфтах компоновки заканчивания горизонтальных скважин. Данный фактор может вносить существенное влияние, т.к. возникают высокие местный

гидравлические сопротивления при движении жидкости разрыва и песконесущей жидкости в пласт. Отдельное внимание необходимо уделить на сопротивление, возникающее в перфорационных отверстиях в случае использования конструкций скважин с цементируемыми хвостовиками.

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:

- **получены** аналитические решения интегро-дифференциального уравнения, описывающие распределение давления в вертикальной трещине ГРП при изменении забойного давления и/или изменении расхода жидкости скважины на основе теоретических моделей нестационарной фильтрации жидкости в системе «скважина-трещина-пласт» при различных режимах работы скважины с трещиной ГРП;

- **определена** одна из важнейших характеристик трещины гидроразрыва пласта – ее проводимость при известном расходе жидкости и динамике забойного давления;

- **показана** перспективность применения полученных результатов при анализе нестационарной фильтрации флюида в трещине ГРП, на примере решений, позволяющих определять давление на забое при заданном переменном расходе жидкости скважины, а также вычислять расход скважины по заданному закону изменения забойного давления; выведенные формулы доказали, свою эффективность при сопоставлении полученных результатов с промышленными данными скважин.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- **уточнены и расширены** теоретические представления о фильтрации однофазной жидкости в вертикальной трещине (полученной в результате проведения операции пропантного гидроразрыва пласта) при переходном режиме работы скважины как добывающей, так и



нагнетательной;

- **получены** аналитические решения, которые устанавливают взаимосвязь между изменяющимся расходом жидкости, а также давлением в скважине и трещине ГРП с учётом утечки жидкости в продуктивный пласт;

- **изучено** влияние физических параметров скважины, коллекторских характеристик пласта и трещины ГРП на фильтрацию жидкости и на значения давления и дебита скважины на примере проведения аналитических расчетов чувствительности решения к изменению параметров.

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

- с практической точки зрения особую ценность имеет возможность определения проводимости трещины ГРП на основе полученных решений;

- аналитические выражения позволяют провести анализ зависимости дебита от давления во времени и характеристик трещины;

- результаты могут быть использованы для уточнения интерпретации гидродинамических исследований скважин и при построении дизайна гидроразрыва пласта.

Оценка достоверности и обоснованности результатов исследования:

- основана на корректной физической и математической постановке задач;

- базируется на применении фундаментальных законов и постулатов механики сплошных сред, теории фильтрации и гидродинамики;

- обусловлена достаточно хорошим согласованием с фактическими промысловыми данными и результатами других исследователей в данной области.

Личный вклад соискателя состоит в участии во всех этапах исследования; получении аналитического решения; сопоставлении решений с промысловыми данными, анализе результатов; программировании и реализации в специальных пакетах; оформлении и подготовке докладов на конференциях и публикаций.

В ходе защиты диссертации было высказано замечание, что в диссертационной работе не изучен вопрос корректности обратной задачи. С этим замечанием соискатель Фокеева Н.О. согласилась и отметила, что этот вопрос в работе не рассматривался, так как под обратной задачей имелось ввиду определение одних параметров на основе известных, наподобие работы программных продуктов.

На заседании 14.12.2023 г. диссертационный совет принял решение: за решение задачи по описанию переменных режимов работы скважины с вертикальной трещиной гидроразрыва, имеющей важное значение для дальнейшего развития теории нестационарной фильтрации жидкости в трещине ГРП, присудить Фокеевой Нине Олеговне ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 7 докторов физико-математических наук по профилю рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 18 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 13, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Заместитель председателя

диссертационного совета

д.т.н., профессор



*Handwritten signature of Valiullin Rim Abdullovich*

Валиуллин Рим Абдуллоевич

Ученый секретарь

диссертационного совета

к.ф.-м.н., доцент

*Handwritten signature of Kirееv Viktor Nikolaevich*

Киреев Виктор Николаевич

14 декабря 2023 г.