

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 03 октября 2024 г. № 9

О присуждении Аносовой Елизавете Петровне, гражданину РФ, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Фильтрация флюида в трещине ГРП, перпендикулярной к горизонтальной скважине» по научной специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы принята к защите 06 июня 2024 года (протокол заседания № 3) 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 Аносова Елизавета Петровна, 08 сентября 1981 года рождения. В 2003 году соискатель окончила Башкирский государственный университет по специальности «Прикладная математика» с присуждением квалификации математик.

Справка о сданных кандидатских экзаменах выдана в 2024 году Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Уфимский университет науки и технологий».

Работает в должности старшего преподавателя кафедры «Информационные технологии и прикладная математика» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический

университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре «Информационные технологии и прикладная математика» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, Нагаева Зиля Мунировна, доцент кафедры «Информационные технологии и прикладная математика» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет».

Официальные оппоненты:

1. Байков Виталий Анварович, доктор физико-математических наук (01.01.03 – Математическая физика), профессор, Общество с ограниченной ответственностью «РН-БашНИПИнефть», бюро старших экспертов, старший эксперт;

2. Игошин Дмитрий Евгеньевич, кандидат физико-математических наук (01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы), Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский государственный университет», Школа компьютерных наук, кафедра фундаментальной математики и механики, профессор

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, в своем положительном отзыве, подписанном Насрутдиновым Маратом Фаритовичем, кандидатом физико-математических наук (01.01.06 – Математическая логика, алгебра и теория чисел), директором Института математики и механики им. Н.И. Лобачевского, Поташевым Константином Андреевичем, доктором физико-математических наук (01.02.05 – Механика

жидкости, газа и плазмы), заведующим кафедрой аэрогидромеханики Института математики и механики им. Н.И. Лобачевского, и утвержденном первым проректором – проректором по научной деятельности Таюрским Дмитрием Альбертовичем, доктором физико-математических наук, профессором, указала, что диссертационная работа является законченной научно-квалификационной работой, результаты работы обоснованы, обладают научной новизной, имеют теоретическую и практическую значимость. Диссертационная работа Аносовой Елизаветы Петровны соответствует требованиям пп. 9-11, 13, 14 «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 11 опубликованных работ. Из них 4 в журналах, входящих в базу данных RSCI, 7 – в изданиях, входящих в РИНЦ. Общий объем – 5,5 печ. л., авторский вклад – 2,04 печ. л.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Шагапов В.Ш., Аносова Е.П., Нагаева З.М. О динамике гармонических фильтрационных волн в гидроразрывной трещине, расположенной перпендикулярно к скважине // Акустический журнал. – 2020. – Т. 66. – № 6. – С. 669 – 674.

2. Шагапов В.Ш., Нагаева З.М., Аносова Е.П. Упругий режим фильтрации жидкости к скважине через перпендикулярную ей трещину, образовавшуюся при гидроразрыве пласта // Прикладная механика и техническая физика. – 2022. – Т. 63. – № 4. – С. 105 – 115.

3. Аносова Е.П., Нагаева З.М., Шагапов В.Ш. Фильтрация флюида к скважине через радиальную трещину ГРП при постоянном расходе // Известия РАН. Механика жидкости и газа. – 2023. – № 2. – С. 90 – 101.

4. Bashmakov R.A., Nagaeva Z.M., Anosova E.P., Shammatova A.A. Determination of parameters of hydraulic fracture perpendicular to borehole axis // Lobachevskii Journal of Mathematics – 2023. – V. 44. – N 5. – P. 1571 – 1578.

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 «Казанский (Приволжский) федеральный университет». Отзыв положительный.

Имеются замечания: 1) Литературный обзор избыточен и включает направления исследований, не затронутые в основном содержании диссертации, в том числе неньютоновские жидкости, тепломассоперенос, многоствольные скважины, модели распространения трещин. 2) Эффективнее было бы работать с нормированными уравнениями, оперируя меньшим числом параметров, и получая более общие выводы. 3) В работе не указан способ технической реализации и затрачиваемое машинное время на вычисление интегралов, входящих в полученные решения. 4) В работе не приведены профили распределения притока пластового флюида вдоль трещины, которые кроме самостоятельной теоретической ценности, позволили бы оценить применимость гипотезы о трещине бесконечной длины при вычислении ее дебита. 5) Для оценки допустимости упрощений, положенных в основу математических моделей, не хватает сравнения полученных результатов с результатами других методов решения аналогичных задач, например, с помощью пакетов CMG, Eclipse. 6) Согласно рис. 4.9 внутренняя граница области, где в пределах 10% погрешности выполняется гипотеза ортогональности линий тока берегам трещины, удаляется от скважины с течением времени. Так на временах порядка  $10^4..10^6$  с, анализируемых в предыдущих разделах диссертации, это расстояние достигает уже 15..50 м, что может быть сопоставимо с полным размером трещин и ставит под вопрос применимость полученных решений и достоверность выводов на таких временах. Прояснить данный момент позволили бы ответы на замечания пп. 4, 5.

2. Официального оппонента, доктора физико-математических наук, профессора, старшего эксперта бюро старших экспертов Общества с ограниченной ответственностью «РН-БашНИПИнефть» Байкова Виталия Анваровича. Отзыв положительный.

Имеются замечания: 1) В первой главе, посвященной обзору исследовательских работ, на странице 28, в формуле для неустановившейся плоскорадиальной фильтрации несжимаемой жидкости допущена опечатка. 2) В разделе 2.2 отмечается: «Пусть возмущение давления в скважине меняется по гармоническому закону». Требуется уточнение: в какой точке скважины это происходит? 3) Нет пояснения, что такое проницаемость трещины и как она определяется? 4) Часть выводов, представленных в диссертационной работе, являются недостаточно полными. Например, в разделе «выводы по третьей главе», в пункте 4 отмечено «Проанализировано влияние фильтрационно-емкостных характеристик пласта и трещины на динамику распространения давления в трещине и на забое скважины», а какие именно выводы были сделаны в результате данного анализа – не представлено.

**3. Официального оппонента,** кандидата физико-математических наук, профессора кафедры фундаментальной математики и механики Школы компьютерных наук Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Тюменский государственный университет» Игошина Дмитрия Евгеньевича. Отзыв положительный.

Имеются замечания: 1) На рис. 1.3 (стр. 21) радиальная трещина изображена горизонтально, при этом использованы термины для вертикальной трещины: высота трещины равна ее общей длине. Далее в работе рассматриваются вертикально расположенные радиальные трещины. 2) На стр. 24 приведена историческая справка по теории фильтрации, начиная с середины XX века, после чего на следующей странице приведены результаты XIX века. Считаю, что подобные сведения логичнее приводить в хронологическом порядке. 3) В таблице 1 (стр. 56) и в последующих задачах пористость пласта и трещины выбрана одинаковой и равной 0,1 при том, что их проницаемости различаются на 5 порядков  $10^{-15} \text{ м}^2$  и  $10^{-10} \text{ м}^2$  соответственно). Непонятно, чем вызван такой выбор параметров. На той же странице (рис. 2.3) не приведены обозначения линий. 4) На рис. 2.6 (стр. 60) приведены с расчёты с круговыми частотами  $10^{-15} \text{ м}^2$  и  $\omega=10^{-4}, 10^{-3}$  и  $10^{-1} \text{ с}^{-1}$ ,

что представляется весьма малой величиной для акустических колебаний. Видно, что это не опечатка, поскольку безразмерная амплитуда колебаний давления для меньших частот ослабевает медленнее с расстоянием до скважины. С другой стороны, при анализе графика рассматривается снижение амплитуды в 10 раз. Логичнее было бы взять указанные числовые значения, но не для круговых частот, а для периода колебаний. Кроме того, имеет смысл рассмотреть снижение амплитуды на 3-4 порядка, что соответствует чувствительности датчиков. Тогда характерные глубины проникновения акустических колебаний окажутся сопоставимы с полученными в расчётах. 5) Выводы по 2-й главе (стр. 62) довольно пространные, использованы такие формулировки как: «изучено», «проанализировано». Не приведено, что конкретно показано и установлено. 6) Из рис. 3.2 и 3.3 (стр. 75, 76) не ясен характер зависимости распределения давления в заданной точке пространства от проницаемости и времени соответственно. 7) Из рис. 3.7 (стр. 85) не понятно, каков характер снижения давления от времени для тех точек пространства, через которые уже прошла фильтрационная волна давления. В 4-й главе подобное представление приведено. Так, из рис. 4.8(а) (стр. 101) видно, что давление на скважине снижается по логарифмическому закону.

4. Кандидата физико-математических наук, доцента, главного специалиста отдела экспертизы и методического обеспечения моделирования и нейросетевой оптимизации разработки Общества с ограниченной ответственностью «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» Хисматуллиной Фариды Сабигияровны. Отзыв положительный. Имеются замечания: 1) В диссертации относительно пластов, в которых производится гидроразрыв пласта, принято допущение об их изотропии и однородности, что неадекватно реальной ситуации. Обычно нефтяные коллекторы представляют собой среду с явно выраженной неоднородностью и анизотропией фильтрационных и упругих свойств. 2) В работе пористость пласта и трещины одинаковые, что, на мой взгляд, является некорректным, так как решение не зависит от пористости трещины.

5. Кандидата физико-математических наук, ученого секретаря Общества с ограниченной ответственностью «РН-БашНИПИнефть» Линд Юлии Борисовны. Отзыв положительный. Имеются замечания: 1) В работе отсутствует сопоставление полученных результатов с промысловыми данными. Действительно, сложно отыскать промысловые данные по единичной трещине ГРП в ГС, тем более с учетом закрытости информации нефтяных компаний. Однако рекомендуется по возможности проработать вопрос валидации построенных моделей. 2) Вызывает сомнения целесообразность использования термина «эволюция» в отношении давления в трещине и расхода жидкости, более релевантными видятся термины «динамика»/«изменение». 3) Автору рекомендуется ознакомиться с последними публикациями исследователей ООО «РН-БашНИПИнефть» по тематике диссертации, напр., «Анализ направления развития трещин гидроразрыва пласта в системе разработки трудноизвлекаемых запасов на основе управления напряженным состоянием пласта» (Мулюков Д.Р., Федоров А.И.) // Нефтяное хозяйство. – № 1, 2024. – С. 54-59.

6. Кандидата физико-математических наук, ученого секретаря Института механики им. Р.Р. Мавлютова – обособленного структурного подразделения Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук Гайнуллиной Элины Фанилевны. Отзыв положительный. Имеются замечания: 1) Почему в уравнении (2) на стр. 8 отсутствует зависимость от радиальной координаты  $r$ ? 2) Почему в формуле (36) на стр. 21 отношение давлений в трещине и на забое скважины принято равным 0.1?

7. Кандидата физико-математических наук, доцента, доцента кафедры прикладной информатики и программирования Стерлитамакского филиала Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский университет науки и технологий» Булатовой Зульфии Абдрахмановны. Отзыв положительный. Вопросов и замечаний нет.

8. Кандидата технических наук, генерального директора Общества с ограниченной ответственностью «Фрак Градиент» Кашапова Дениса Вагизовича. Отзыв положительный. Имеются замечания: На странице 14 автореферата «Также, при наличии трещины ГРП изменение проницаемости пласта не оказывает значительного влияния на дебит скважины...». Проницаемость пласта напрямую влияет на дебит скважины (Закон Дарси). Там же «Видно, что дебит жидкости через трещину ГРП увеличивается пропорционально ее ширине...». Произведение ширины трещины ГРП и проницаемость проппантной пачки называется проводимостью трещины. Проводимость влияет на дебит через расчет скин-фактора, который рассчитывается через безразмерную проводимость трещины (Dimensionless fracture conductivity), которая зависит от проницаемости пласта. Для развития работы в дальнейшем, рекомендуется учесть изменение вязкости флюида на динамику давления, а также провести оценку для газовых скважин.

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** математическая модель нестационарной фильтрации в виде интегро-дифференциального уравнения для описания фильтрации жидкости в трещине, образованной в результате гидроразрыва пласта (ГРП), расположенной перпендикулярно стволу горизонтальной скважины, с учетом фильтрации флюида в пласт (или из пласта в трещину, а затем в скважину);

– **получены** точные и приближенные решения для описания процесса фильтрации в трещине ГРП, перпендикулярной к горизонтальной скважине, с учетом фильтрационного течения через стенки трещины ГРП при различных режимах работы скважины (при поддержании постоянного перепада давления между забоем скважины и пластом, при поддержании постоянного расхода на скважине);



– **изучено** распространение гармонических волн давления в вертикальной трещине ГРП; показано, что трещины для низкочастотных колебаний давления в скважине являются «волновым каналом»: характерное расстояние затухания волн в трещинах, а также в пласте вблизи нее может быть значительно выше, чем в пласте при отсутствии трещины ГРП.

Теоретическая значимость полученных соискателем результатов исследования заключается в развитии теоретических представлений о нестационарной фильтрации в системе «пласт-трещина ГРП-скважина» для случая, когда трещина ГРП расположена перпендикулярно к стволу горизонтальной скважины. Полученные решения позволяют установить качественные и количественные закономерности динамики полей давления в пластах при различных режимах работы скважины.

Практическая значимость работы заключается в том, что полученные решения могут быть использованы для определения параметров трещины ГРП (например, ширина, проводимость) по данным об изменении давления в скважине, проводя сопоставление их с расчетными или модельными данными при прочих известных значениях параметров пласта и флюида. Оценка достоверности результатов исследования выявила:

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

– **установлено**, что результаты, полученные в диссертационной работе, согласуются с имеющимися в данной области результатами исследований других авторов и не противоречат фундаментальным законам механики сплошных сред.

Личный вклад соискателя состоит в участии во всех этапах исследования: построении моделей, получении аналитических и приближенных решений, анализе результатов, программировании и численной реализации в специальных пакетах, оформлении и подготовке докладов на конференциях и публикаций.

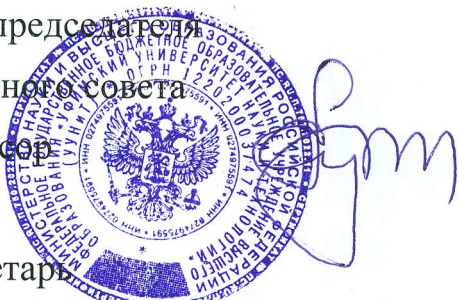
В ходе защиты диссертации было высказано замечание, что в диссертационной работе не рассматривается задача о фильтрации в трещине

ГРП при переменных режимах работы скважины. Данное исследование сделало бы работу еще более интересной и практически значимой. С этим замечанием соискатель Аносова Е.П. согласилась и отметила, что данная задача в работе не рассматривается, но при дальнейшей научной работе по данной тематике, вполне возможно более детальное рассмотрение данного вопроса.

На заседании 03.10.2024 г. диссертационный совет принял решение: за разработку математической модели, описывающей нестационарную фильтрацию флюида в системе «пласт-трещина ГРП-скважина», получение точных и приближенных решений, описывающих распределение давления в трещине ГРП при различных режимах работы скважины (при поддержании постоянного перепада давления между забоем скважины и пластом, при поддержании постоянного расхода на скважине), имеющих важное значение для дальнейшего развития теории нестационарной фильтрации жидкости в трещине ГРП, расположенной перпендикулярно к горизонтальной скважине, присудить Аносовой Елизавете Петровне ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 12 человек, из них 5 докторов физико-математических наук по профилю рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 17 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 12, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Заместитель председателя  
диссертационного совета  
д.т.н., профессор



Валиуллин Рим Абдуллович

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
к.ф.-м.н., доцент

Киреев Виктор Николаевич

03 октября 2024 г.