

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 12 октября 2023 г. № 13

О присуждении Хисамову Артуру Альфировичу, гражданину РФ, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Аналитическое исследование нестационарной фильтрации жидкости в системе пласт-трещина гидроразрыва» по научной специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы принята к защите 6 июля 2023 года (протокол заседания № 5) диссертационным советом 24.2.279.05, 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 Хисамов Артур Альфирович, 20 марта 1994 года рождения. В 2018 году соискатель окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный университет» по направлению подготовки 03.04.02 Физика, профиль: Моделирование нефтегазовых процессов с присвоением квалификации Магистр. В 2022 г. окончил аспирантуру по очной форме обучения Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Башкирский государственный университет» по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия,

профиль: Теплофизика и теоретическая теплотехника с присвоением квалификации «Исследователь. Преподаватель-исследователь». Диплом об окончании аспирантуры выдан Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Башкирский государственный университет» в 2022 г.

Работает в должности начальника отдела гидрогеологии и проектирования водозаборов управления по моделированию и анализу исследований скважин и пластов Общества с ограниченной ответственностью «РН-БашНИПИнефть» Публичного акционерного общества «Нефтяная компания «Роснефть».

Диссертация выполнена на кафедре прикладной физики Физико-технического института Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский университет науки и технологий» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор Хабибуллин Ильдус Лутфурахманович, профессор кафедры прикладной физики Физико-технического института Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский университет науки и технологий».

Официальные оппоненты:

1. Никифоров Анатолий Иванович, доктор физико-математических наук (01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы), профессор, академик РАН, Институт механики и машиностроения – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией математического моделирования процессов фильтрации;

2. Галиакбарова Эмилия Вильевна, доктор физико-математических наук (1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы), доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический

университет», кафедра «Информационные технологии и прикладная математика», профессор кафедры;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский государственный университет», г. Тюмень, в своем положительном отзыве, подписанном Татосовым Алексеем Викторовичем, доктором физико-математических наук (01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы), профессором кафедры фундаментальной математики и механики Института математики и компьютерных наук, Девятковым Антоном Павловичем, кандидатом физико-математических наук (01.01.01 – Математический анализ), заведующим кафедрой фундаментальной математики и механики Института математики и компьютерных наук и утвержденном первым проректором Толстиком Андреем Викторовичем, указала, что диссертационное исследование является самостоятельным, целостным и завершенным. Полученные автором результаты обоснованы, обладают научной новизной, имеют теоретическую и практическую значимость; вносят существенный вклад в теорию течения жидкостей и газов в пористых средах. Диссертация соответствует требованиям пп. 9-11 (раздел II) «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 №842, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Соискатель имеет 19 опубликованных работ. Из них 3 в рецензируемых научных журналах, рекомендованных перечнем ВАК РФ при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации; 1 включена в базу данных Scopus; 3 – в журналах, входящих в базу данных RSCI, 12 – в изданиях, входящих в РИНЦ.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Хабибуллин И.Л., Хисамов А.А. Моделирование нестационарной фильтрации вокруг скважины с вертикальной трещиной гидроразрыва // Вестник Башкирского университета. – 2017. – Т. 22, № 2. – С. 309-314.

2. Хабибуллин И.Л., Хисамов А.А. К теории билинейного режима фильтрации в пластах с трещинами гидроразрыва // Вестник Башкирского университета. – 2018. – Т. 23, № 4. – С. 958-963.

3. Хабибуллин И.Л., Хисамов А.А. Исследование фильтрационного потока к скважине с вертикальной трещиной гидроразрыва при наличии скин-зоны в трещине // Вестник Башкирского университета. – 2022. – Т. 27. – № 2. – С. 270-274.

4. Khisamov A.A., Khabibullin I.L. Modeling of unsteady flow around well with hydraulic fracture // E3S Web of Conferences, Saint Petersburg, 31 мая – 06 июня 2021 года. – Saint Petersburg, 2021.

5. Хабибуллин И.Л., Хисамов А.А. Нестационарная фильтрация в пласте с трещиной гидроразрыва // Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа. – 2019. – № 5. – С. 6-14.

6. Хабибуллин И.Л., Хисамов А.А. Моделирование нестационарной фильтрации в системе пласт - трещина гидроразрыва // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. – 2022. – № 77. – С. 158-168.

7. Хабибуллин И.Л., Хисамов А.А. Моделирование неустановившейся фильтрации жидкости в пласте с трещиной гидроразрыва // Прикладная механика и техническая физика. – 2022. – Т. 63. – № 4(374). – С. 116-125.

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». Отзыв положительный.

Имеются замечания: 1) Имеется некоторое количество опечаток. Следует избегать использования в аргументах функций знак стремления к бесконечности. 2) Во второй главе отсутствует обоснование уравнения для давления в трещине, согласованного с притоком флюида из пористой среды,

которое подтвердило бы достоверность математической модели. 3) В математической модели (2.1)-(2.7) отсутствует указание аргументов искомым функций. Уравнение (2.2) для давления в трещине очевидно одномерное, тогда область – луч, а не полоса; в условии (2.3) в правой части вновь присутствует ордината; в (2.5) то же самое. 4) Физическая интерпретация математической постановки (3.1)-(3.7) не до конца ясна. При ограниченной протяженности трещины пренебрегается краевыми эффектами или же носик упирается в непроницаемый пропласток? 5) При анализе найденного решения и построении графиков ряды заменились частичными суммами. На стр. 77 заявлен диапазон «четыре», а на стр. 89 – «пять». Точность определялась визуально? 6) Детальная формализация задачи при наличии скин-зоны в трещине опущена. Краткое описание улучшило бы восприятие новой математической постановки. 7) Неясно, должна ли проницаемость скин-зоны быть значительно выше проницаемости пласта. Почему отношение дебитов при наличии или отсутствии скин-зоны не зависит от параметров пласта? Проводилась ли оценка скорости фильтрации при используемых значениях расчетных параметров.

2. Официального оппонента, доктора физико-математических наук, профессора, академика РАН, ведущего научного сотрудника, заведующего Лабораторией математического моделирования процессов фильтрации Института механики и машиностроения – обособленного структурного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук» Никифорова Анатолия Ивановича. Отзыв положительный.

Имеется замечание: 1) По сути выполненной диссертантом работы замечаний нет. Есть вопросы, которые возникают при прочтении диссертации и косвенно касаются её, и не только её. В частности, расчеты выполнены для трещин гидроразрыва размерами 10*100 м. Как получить такую трещину, как разорвать пласт, не затронув окружающие породы? А если окружающие породы порваны и пропант закачан в полученную

трещину, то течение в трещине уже трудно представить одномерным, так как линии тока в трещине выйдут за пределы пласта. Какова будет при этом погрешность выполненной идеализации пласт-трещина-скважина?

3. Официального оппонента, доктора физико-математических наук, доцента, профессора кафедры «Информационные технологии и прикладная математика» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет» Галиакбаровской Эмилии Вильевны. Отзыв положительный.

Имеются замечания: 1) В главе 2, озаглавленной «Нестационарная фильтрация в пласте с трещиной гидроразрыва неограниченной протяженности» после формулы (2.7) появляется конечная величина полудлины трещины x_f , которая используется далее для перехода к безразмерным величинам. Замечу, что в окончательной формуле, полученной в работе, после перехода от безразмерных к размерным величинам, полудлина трещины x_f исчезает. Однако, на наш взгляд, следовало бы этот момент пояснить подробнее. 2) На рисунке 2.18 представлен график сравнения распределений давления, полученных в ПО Saphir и по формуле (2.62). Под рисунком указано, что 1 – численное решение; 2 – аналитическое решение. Но на графике мы видим лишь одну кривую. Если они в этом масштабе совпадают, то следовало бы отобразить отличия, показав отдельные участки кривых, отобразив разницу. 3) В диссертационной работе приводятся частные случаи решений, имеющих самостоятельный интерес: глава 3 (стр. 83), глава 4 (стр. 99-100), наличие такого анализа является конечно положительным результатом, однако для лучшего восприятия о каких частных случаях идет речь не хватает схем областей фильтрации. Например, «эта задача описывает плоско-параллельный фильтрационный поток из пласта к галерее или к трещине ГРП бесконечной проводимости при наличии скин-зоны соответственно на галерее или на боковой поверхности трещины».

4. Кандидата физико-математических наук, специалиста по гидродинамическому моделированию Общества с ограниченной ответственностью «Поликод» Гарнышева Марата Юрьевича. Отзыв положительный. Имеется замечание: 1) В автореферате отсутствует информация о сходимости рядов, полученных при решении задачи модели трещины конечной проводимости.

5. Кандидата технических наук, заместителя руководителя отдела гидродинамических исследований скважин Общества с ограниченной ответственностью «Поликод» Гуляева Данилы Николаевича. Отзыв положительный. Замечания отсутствуют.

6. Доктора технических наук, профессора РАН, главного научного сотрудника лаборатории газонефтеконденсатоотдачи пластов им. С.Н. Закирова, заместителя директора по научной работе Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт проблем нефти и газа Российской академии наук» Индрупского Ильи Михайловича. Отзыв положительный.

Имеются замечания: 1) Представленные постановки задач учитывают течение в пласте только в направлении, перпендикулярном плоскости трещины – так называемые линейный и билинейный режимы. Не сформированы ограничения таких постановок, в частности, невозможность учета поздних режимов течения, включая принципиально важный радиальный режим. 2) В автореферате не приведено сопоставление используемых постановок задач и полученных решений с ранее известными результатами других авторов для нестационарного притока к скважинам с ГРП. 3) Постановка задачи со скин-зоной в трещине пренебрегает протяженностью этой зоны вдоль оси трещины. В автореферате не приведены оценки погрешности, которая может возникать из-за такого приближения, особенно на ранних временах работы или остановки скважины.

7. Кандидата физико-математических наук, главного специалиста сектора ГДМ газонефтяных месторождений отдела гидродинамического

моделирования Общества с ограниченной ответственностью «РН-БашНИПИнефть» Ишмуратова Тимура Ахмадеевича. Отзыв положительный. Замечания отсутствуют.

8. 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.

Имеется замечания: 1) Автору следовало бы провести сопоставление полученных результатов с известными решениями. Например, можно показать, что полученные автором выражения (16) и (20) для несжимаемой трещины эквивалентны решениям соответствующих задач для билинейного режима фильтрации из работ Guppy K.H., Cinco-Ley H., Ramey H.J. Jr. Effect of non-Darcy flow on the constant-pressure production of fractured wells // SPE J. 1981. Vol. 21, № 3. P. 390-400 и Cinco-Ley H., Samaniego V.F. Transient pressure analysis for fractured wells // JPT. 1981. Vol. 33, № 9. P. 1749-1766.

9. Кандидата физико-математических наук, доцента кафедры «Информационные технологии и прикладная математика» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет» Нагаевой Зили Мунировны. Отзыв положительный. Замечания отсутствуют.

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:

исследованы математические модели, описывающие нестационарную фильтрацию однофазной жидкости в системе пласт-трещина гидроразрыва при различных режимах работы скважины;

получены аналитические решения задач нестационарной фильтрации в системе пласт-трещина в общей постановке с учетом фильтрации в пласте и упругоэластичности трещины, описывающие фильтрацию в рамках моделей трещины неограниченной и конечной протяженности;

разработана модель нестационарной фильтрации в системе пласт-трещина гидроразрыва при наличии скин-зоны в трещине;

установлено, что наличие скин-зоны внутри трещины приводит к качественным и количественным изменениям показателей динамики распределения давления, в частности к уменьшению дебита;

показано, что для каждого момента времени и фиксированного набора фильтрационных параметров существует предельная длина трещины кривая падения давления, для которой практически совпадает с кривой падения давления для трещины неограниченной протяженности;

показана перспективность использования результатов, полученных в диссертационной работе, при проведении гидродинамических исследований скважин.

Теоретическая значимость работы заключается в том, что в ней получены новые аналитические решения уравнений нестационарной фильтрации в системе пласт-трещина гидроразрыва, позволяющие установить качественные и количественные закономерности формирования нестационарных полей давления в пластах при различных режимах работы скважины. Полученные аналитические решения расширяют область применения метода интегральных преобразований Лапласа для решений уравнений параболического типа. Эти аналитические решения могут служить для валидации алгоритмов расчетов при численном моделировании фильтрации в пластах с трещинами гидроразрыва.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

использованы методы интегрального исчисления, теории обыкновенных дифференциальных уравнений и уравнений математической физики. При аналитическом моделировании задач использованы фундаментальные уравнения нестационарной фильтрации;

изучены причинно-следственные связи процесса фильтрации при наличии трещины гидроразрыва с классическим случаем отсутствия трещины;

проведена модернизация и расширение существующих моделей для учета упругоэластичности трещины, ограниченности ее длины и наличия фильтрационного потока в пластах;

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

- зависимости выражения для давления на забое скважины от времени можно использовать при гидродинамических исследованиях пластов методом типовых кривых;

- аналитические выражения для дебита позволяют провести анализ зависимости дебита от времени и всего комплекса гидродинамических характеристик пласта и трещины;

- представляется возможным использование аналитических выражений для полей давления и скоростей фильтрации при разработке математических моделей неизоэластичной фильтрации флюида применительно к задачам скважинной термометрии, а также при моделировании трассерных исследований в пластах трещиной гидроразрыва.

определены пути практического использования исследованных математических моделей при интерпретации гидродинамических исследований скважин в пластах с трещиной гидроразрыва;

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:

- постановки задач корректны; полученные решения не противоречат общим представлениям и находятся в соответствии с результатами, полученными другими авторами;

установлено совпадение полученных решений задач в частных случаях с известными в литературе результатами.

Диссертация охватывает основные вопросы постановки проблемы и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием взаимосвязей между разными разделами работы, единой методологической платформой и структуры работы.

Личный вклад соискателя состоит в участии, реализации и исследовании математических моделей нестационарной фильтрации в системе пласт-трещина гидроразрыва. Диссертант активно и инициативно участвовал в получении аналитических решений задач, самостоятельно провел численные расчеты, анализ результатов, подготовку публикаций и апробацию результатов.

В ходе защиты диссертации соискателю был задан вопрос, учтено ли наличие перфорационных отверстий в стволе скважины? В ответе на вопрос соискатель отметил, что в задаче наличие перфорационных отверстий не учитывается, так как считается, что при наличии трещины гидроразрыва гидродинамическая связь скважины и пласта реализуется именно через трещину гидроразрыва. В плотных коллекторах поток из пласта в скважину через перфорационные отверстия является ничтожным, в связи с чем и делается трещина гидроразрыва.

Также было высказано замечание, что в ходе доклада не акцентировано должное внимание на результате сравнения давлений с учетом и без учета упругоэластичности трещины. С этим замечанием соискатель согласился и отметил, что в диссертационной работе представлен подробный анализ полученных результатов.

На заседании 12.10.2023 г. диссертационный совет принял решение: за решение научной задачи, имеющей важное значение для развития теории нестационарной фильтрации и разработки нефтегазовых месторождений, присудить Хисамову Артуру Альфировичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

