

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.418.03,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 21.06.2022 № 6

О присуждении Шляпкину Алексею Сергеевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Математическое моделирование процесса гидроразрыва пласта с учетом особенностей движения проппанта в трещине и фильтрационных утечек в пласт» по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ принята к защите 12 апреля 2022, протокол заседания № 4 диссертационного совета 24.2.418.03, созданного на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Тюменский государственный университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 625003, г. Тюмень, ул. Володарского 6. Приказ Минобрнауки России от 09.11.2012 № 717/нк.

Соискатель Шляпкин Алексей Сергеевич 02.06.1987 года рождения, в 2010 году окончил государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тюменский государственный университет» по специальности «Математика». Для подготовки диссертации на соискание ученой степени кандидата наук без освоения программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре соискатель Шляпкин Алексей Сергеевич был прикреплен к ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет» (с 01.12.2017 г. по 30.11.2020 г.). Диссертация выполнена на кафедре фундаментальной математики и механики. На момент подготовки диссертации работал в Филиале ООО «ЛУКОЙЛ-

Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть» в г. Тюмени в должности главного специалиста.

В 2021 г. Шляпкин А.С. зачислен в очную аспирантуру ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации для окончания работ над диссертационным исследованием (с 01.09.2021 по 01.12.2021). Справка о сданных кандидатских экзаменах № 41/1 выдана 26.11.2021 федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Тюменский государственный университет».

В настоящее время работает в обособленном подразделении ООО «ПетроТрейс» в должности ведущего инженера-разработчика проекта, руководителя проекта.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры фундаментальной математики и механики Татосов Алексей Викторович ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет».

Официальные оппоненты: 1) **Хусаинов Исмагилян Гарифьянович** – доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры прикладной информатики и программирования Стерлитамакского филиала ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет»; 2) **Коваленко Игорь Викторович** – кандидат технических наук, руководитель программ развития продуктов ООО «Газпромнефть НТЦ», дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация ООО «Тюменский нефтяной научный центр» (г. Тюмень) в своем положительном отзыве, подписанном ученым секретарем, кандидатом технических наук, Галикеевым Р.М., утвержденном генеральным директором, кандидатом технических наук, Аржиловским А.В., указала, что диссертационная работа Шляпкина Алексея Сергеевича «Математическое моделирование процесса гидроразрыва пласта с учетом особенностей движения проппанта в трещине и фильтрационных утечек в пласт» по актуальности, научной новизне, основным положениям, научной, практической значимости и достоверности полученных результатов соответствует требованиям п.

9 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор – Шляпкин Алексей Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Соискатель имеет 18 опубликованных работ по теме диссертации, из них 3 работы в рецензируемых научных изданиях, рекомендуемых ВАК РФ, 2 работы опубликованы в изданиях из международных баз данных Scopus и Web of Science. Получено 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. Общий объем научных изданий 6,27 п.л., из них вклад автора – 3,74 п.л.

Публикации полностью соответствуют теме диссертационного исследования и раскрывают ее основные положения. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Наиболее значимые публикации:

1. Татосов А.В. Движение пропанта в раскрывающейся трещине гидроразрыва пласта / А.В. Татосов, А.С. Шляпкин // Изв. Саратовского ун-та. Новая серия. Математика. Механика. Информатика. – 2018. – Т. 18. – № 2. – С. 217-226. (*WoS, МРБ из перечня ВАК*)

2. Шляпкин А.С. О проведении экспресс-оценки геометрических параметров закрепленной на пропанте трещины гидроразрыва пласта методами математического моделирования / А.С. Шляпкин, А.В. Татосов // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. – 2020. – Т. 6. – № 3. – С. 79-92. (*МРБ из перечня ВАК*)

3. Шляпкин А.С. Численная и программная реализация одномерной математической модели гидроразрыва пласта / А.С. Шляпкин, А.В. Татосов // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. – 2021. – Т. 7. – № 1. – С. 126-145. (*МРБ из перечня ВАК*)

4. Шляпкин А.С. О решении задачи гидроразрыва пласта в одномерной математической постановке / А.С. Шляпкин, А.В. Татосов // Нефтяное хозяйство. – 2020. – № 12. – С. 118-121. (*Scopus, МРБ из перечня ВАК*)

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2020619401 Российская федерация. TSH FRAC Программный комплекс для моделирования геометрических параметров трещины гидроразрыва пласта, определения стоимости мероприятий и оценке рисков / А.В. Татосов, А.С. Шляпкин; заявители и правообладатели А.В. Татосов, А.С. Шляпкин. – № 2020619401; заявл. 23.07.2020; опубл. 17.08.2020 Бюл. № 8. – 1 с.

На автореферат поступили отзывы от:

1. Доктора технических наук, доцента, профессора кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» Института геологии и нефтегазодобычи ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», **Мулявина С.Ф.**, отзыв положительный, с замечанием: пятая задача гласит: «Оценка адекватности результатов проведенного эксперимента в сравнении с результатами, полученными на коммерческом зарубежном аналоге». Однако в выводах решение этой задачи не отражено. И почему адекватность оценивается на «импортной» программе», а не по фактическим данным?
2. Кандидата физико-математических наук, заведующего лабораторией вычислительной гидродинамики НИО математического моделирования нефтегазовых месторождений тюменского отделения «СургутНИПИнефть» ПАО «Сургутнефтегаз», **Соколюк Л. Н.**, отзыв положительный, с замечаниями:
 1. Сопоставление результатов моделирования трещин ГРП с зарубежными аналогами приведены только для терригенных коллекторов. Неочевидно использование разработанной модели для карбонатных коллекторов. Возможно, модель позволяет строить модель трещин ГРП для карбонатных коллекторов, но в тексте диссертации об этом не упомянуто.
 2. В работе не указано, как происходит использование полученных результатов дизайна трещин ГРП для дальнейшего моделирования трещин в гидродинамических симуляторах. В частности, в описании работы ПО «TSH

FRAC» не сказано в каких форматах происходит выгрузка данных и конвертация информации в гидродинамические симуляторы.

3. В описании модели построения трещины, заложенной в ПО «TSH FRAC» не описано, как учитываются неконтролируемые факторы: ФЭС, свойства пластовых флюидов. В связи с чем встает вопрос не только о применимости данной модели к различным коллекторам, но и к определенным типам залежи: газовые и газоконденсатные.

3. Доктора физико-математических наук, профессора, профессора кафедры геофизики Физико-технического института Башкирского государственного университета, **Шарафутдинова Р.Ф.**, отзыв положительный, с замечаниями:

1. Из автореферата не ясно почему автором отдано предпочтение математической модели Перкинса – Керна – Нордгрена (прим. далее РКН), а, скажем, не Христиановича – Гиртсма – де Клерка или радиальной модели?

2. Не указаны технические характеристики разработанного программного обеспечения (ПО):

– не ясно проводились ли испытания на предельных нагрузках и предельных объемах программно-аппаратной среды. Хотя, последнее требование не является обязательным, но было бы полезно привести его для оценки конкурентоспособности ПО;

– не приведены временные оценки решения типовых задач.

3. В работе пренебрегается инерционным слагаемым, однако, в автореферате нет оценок этого.

4. Кандидата физико-математических наук, старшего научного сотрудника Тюменского филиала Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН, **Косякова В.П.**, отзыв положительный, с замечаниями:

1. В автореферате не приведены количественные оценки «эффективности» предлагаемых решений по сравнению с имеющимися готовыми программными решениями. Интересны были бы оценки сокращения времени

расчета и вычислительных ресурсов в зависимости от масштаба решаемой задачи и требуемой точности результата.

2. В автореферате указано, что расчетная часть основывается на явной конечно-разностной схеме, однако преимуществ перед неявной схемой не показано (кроме простоты распараллеливания).
 3. В автореферате не указано оценивалось ли влияние напряженно деформированного состояния на полученные решения. Интересным является степень влияния подобных макропараметров на процесс развития трещины ГРП.
5. Доктора физико-математических наук, профессора, главного научного сотрудника лаборатории «Механики многофазных сред» Института механики им. Р.Р. Мавлютова ФГБНУ Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, **Урманчеева С.Ф.**, отзыв положительный, с замечаниями:

1. В диссертационной работе математическая модель была построена на основе обобщения одномерной модели РКН. При этом в литературном обзоре приведен краткий, но достаточно подробный анализ двумерных, псевдотрехмерных и трехмерных моделей. Было бы целесообразным дать некоторые оценки, связанные с увеличением размерности задачи, например, рассмотрев упрощенный вариант модели, приведенный в диссертации.
2. Результаты вычислительного эксперимента, представленные на рисунке 3 автореферата, в ряде случаев демонстрируют значительные расхождения между «базовой» и «дополнительной» моделями особенно для распределения концентрации частиц. Несмотря на приведенные в тексте суждения, остается неясным, какие результаты наиболее полно соответствуют промысловым данным.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты являются специалистами высокого уровня в области моделирования резервуара, подземной гидродинамики, а ведущая организация известна своими достижениями в области гидродинамического и математического

моделирования, что позволяет им оценить научную и практическую значимость диссертационной работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

предложена уточненная математическая постановка, позволяющая описывать транспорт частиц по трещине, для трещин ГРП, развивших значительную длину;

разработан метод моделирования, основанный на развитии известной математической модели в РКН-постановке, который позволил учитывать поведение частиц проппанта в трещине ГРП при фильтрационных утечках в пористую среду, уточняя тем самым размер полости трещины, а именно ее ширину;

предложены:

- подход к определению геометрических параметров трещины гидроразрыва пласта (далее ГРП) с учетом уточнения поведения частиц внутри трещины;

- критерий остановки роста трещины при отсутствии свободной от осадка области;

- подход к определению себестоимости мероприятия, основанных на учете удельных нормативов;

показана практическая значимость исследования в моделировании гидродинамических процессов, сопряженных с описанием течения технологически неоднородной жидкости разрыва по трещине; эффектов, связанных с осаждением частиц в результате утечек в пласт и гравитационного осаждения;

введены основные особенности поведения частиц проппанта при взаимодействии со стенкой при фильтрации в пласт, динамика их осаждения, а также влияние скорости образования осадка на потенциал роста трещины.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

предложен метод моделирования геометрических параметров развивающейся трещины ГРП, позволяющей уточнить ее среднюю ширину с учетом эффектов движения проппанта внутри трещины, позволяющий учитывать в качестве входной информации реальные данные параметров закачки, свойств жидкости разрыва, параметров литологии пласта и упруго-емкостных свойств;

построена методика экспресс-оценки, позволяющая снизить риски, сопряженные с проведением процесса гидроразрыва; оценить возможные осложнения при проведении мероприятия на этапе предпроектной подготовки;

использована явная численная схема с введенным оригинальным критерием остановки роста трещины, связанным с введенным автором понятием «свободной от осадка области», а именно, трещина растет, пока существует свободная от осадка область;

разработан комплекс программ для проведения вычислительных экспериментов по установлению функциональных зависимостей технологических параметров закачки, параметров пласта и свойств воссоздаваемой трещины гидроразрыва;

доказана перспективность применения результатов диссертационного исследования для изучения процессов, проходящих в пласте при проведении операции гидроразрыва, путем сравнения с уже известными автомодельными решениями, полученными О.Е. Ивашневым и Н.Н. Смирновым; отмечается высокая сходимость;

изложены результаты численного моделирования по закачке в пласт вязкой жидкости с примесью твердых частиц с учетом утечек в пласт различной интенсивности;

получены основные закономерности роста трещины в зависимости от типа закачиваемого агента, его концентрации, времени предварительной закачки без загрузки;

показано, что существует непосредственная связь между величиной объемного содержания частиц в смеси, скоростью их падения, средней скоростью и протяженностью роста самой трещины при разных режимах закачки.

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

создан метод моделирования, позволяющий на основе развития известной математической PKN-постановки, производить оперативную оценку параметров трещины с использованием начальных данных о реальном объекте;

разработан алгоритм решения вычислительной задачи, позволяющий проводить вычислительные эксперименты при многовариантном моделировании с целью определения оптимальных параметров закачки и решении задач оптимизации;

определены численно геометрические параметры трещины при различных режимах закачки и концентрации закачиваемой смеси. Введение понятия свободной от осадка области позволило оценить среднюю толщину трещины в условиях быстрого перемешивания, а также прилипания частиц к берегам трещины;

обоснована возможность использования способа моделирования при работе с коллекторами с выдержанными свойствами по разрезу, в которых трещина развивается вертикально;

выполнены множественные вычислительные эксперименты с целью установления влияния двух групп факторов на успешность проведения ГРП:

- априорных свойств горной породы (параметры литологии, фильтрационно-емкостные и прочностные свойства), по которым осуществляется подбор параметров закачки и свойств жидкости разрыва;

- подбора технологических параметров (скорость закачки, давление на устье скважины, график закачки) и свойств жидкости разрыва (вязкость, объем), позволяющих с привлечением информации по аналогам достичь проектных параметров трещины.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория построена на общепринятых началах гидродинамики и теории численных методов, основах объектно-ориентированных языков программирования;

идея базируется на анализе практического опыта моделирования гидродинамических и геомеханических процессов при оценке параметров трещины гидроразрыва;

использованы апробированные численные методы, проверенные при моделировании задач о развитии трещины разрыва в продуктивном пласте;

верифицированы результаты исследования проведением многочисленных вычислительных экспериментов при реальных и синтетических исходных данных и

сопоставлением с результатами других авторов, а также сравнением с результатами, полученными на коммерческом программном обеспечении. Наблюдается хорошая корреляция с результатами расчета на зарубежном аналоге. Однако, используемая в TSH FRAC модель позволяет уточнить ширину трещины – важный параметр при моделировании гидроразрыва пласта, который в последующем определит фильтрационную характеристику.

Личный вклад автора состоит в разработке метода математического моделирования, основанного на математической модели в РКН-постановке, учитывающей поведение частиц проппанта в трещине ГРП при фильтрационных утечках в пористую среду. Автором определена зависимость геометрических параметров трещины от свойств закачиваемой жидкости, режимов закачки. Автор принимал участие в написании статей, опубликованных в научных журналах (ВАК, в т.ч. WoS и Scopus) и участвовал в качестве докладчика в научно-практических конференциях по теме диссертационного исследования, является одним из авторов и правообладателей комплекса программ «TSH FRAC Программный комплекс для моделирования геометрических параметров трещины гидроразрыва пласта, определения стоимости мероприятий и оценке рисков».

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

- 1) Модель не учитывает изменение свойств по разрезу в силу одномерной постановки, высота трещины не моделируется.
- 2) На слайдах в презентации и в тексте диссертации необходимо четко выделять вновь вводимые автором параметры и выражения.
- 3) Не приведены количественные оценки при сравнении с результатами, полученными на коммерческом программном продукте, анализ статистических данных.

Соискатель Шляпкин А.С. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию:

- 1) Действительно, осреднение свойств по разрезу снижает точность прогноза, что является недостатком представленной модели. В целом, целью было

показать подход к учету транспорта пропанта в трещине, который планируется транслировать на модели большей размерности при дальнейшей проработке тематики.

2) С замечанием согласен, целесообразно выделить данные параметры из общего текста и описания для лучшего визуального восприятия. При этом стоит отметить, что акцент на их новизне сделан посредством описания в тексте.

3) Указанная статистика может быть приведена дополнительно, например, с указанием коэффициента детерминации, невязок. При этом иллюстрация, приведенная в тексте и презентации, также отражает результаты эксперимента. Замечание будет учтено в последующих описаниях к вычислительным экспериментам.

На заседании 21.06.2022 диссертационный совет за решение научной задачи, имеющей важное теоретическое и практическое значение для развития методов математического моделирования процессов, происходящих в пласте при проведении гидроразрыва пласта, принял решение присудить Шляпкину А.С. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении электронного тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек (очно – 15 человек, дистанционно – 1 человек), из них 8 докторов наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (физико-математические науки), участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, проголосовали: за – 16, против – нет, не участвовал в голосовании – нет.

Председатель
диссертационного совета



Захаров Александр Анатольевич

Ученый секретарь
диссертационного совета

Оленников Алексей Александрович

21.06.2022