

Результаты публичной защиты

Дата защиты: 21 марта 2019 г.

Соискатель: **Блонский Артём Вадимович.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук на тему: «Математическое моделирование течений в системах трещин».

Специальность 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

На заседании председательствует – Зам. председателя диссертационного совета, член-корреспондент РАН, д.ф.-м.н., профессор В.Ф. ТИШКИН.

Ученый секретарь – к.ф.-м.н. М.А. КОРНИЛИНА.

На заседании из 25 членов диссертационного совета присутствовали 19, из них 6 докторов по специальности рассматриваемой диссертации:

1.	ТИШКИН В.Ф.	д.ф.-м.н.	01.01.07
2.	КАЛИТКИН Н.Н.	д.ф.-м.н.	01.02.05
3.	КОРНИЛИНА М.А.	к.ф.-м.н.	05.13.18
4.	АНДРЕЕВ В.Б.	д.ф.-м.н.	01.01.07
5.	ВАСИЛЕВСКИЙ Ю.В.	д.ф.-м.н.	01.01.07
6.	ГОЛОВИЗНИН В.М.	д.ф.-м.н.	01.02.05
7.	ЕЛИЗАРОВА Т.Г.	д.ф.-м.н.	01.02.05
8.	КАРАМЗИН Ю.Н.	д.ф.-м.н.	01.01.07
9.	КОВАЛЕВ В.Ф.	д.ф.-м.н.	05.13.18
10.	КОЗЛОВ А.Н.	д.ф.-м.н.	01.02.05
11.	КОЛЕСНИЧЕНКО А.В.	д.ф.-м.н.	05.13.18
12.	КУЛЕШОВ А.А.	д.ф.-м.н.	05.13.18
13.	ЛУЦКИЙ А.Е.	д.ф.-м.н.	01.02.05
14.	МАЖУКИН В.И.	д.ф.-м.н.	05.13.18
15.	МИЛЮКОВА О.Ю.	д.ф.-м.н.	01.01.07
16.	ПЕТРОВ И.Б.	д.ф.-м.н.	01.02.05
17.	ПОЛЯКОВ С.В.	д.ф.-м.н.	01.01.07
18.	ШПАТАКОВСКАЯ Г.В.	д.ф.-м.н.	05.13.18
19.	ЯКОВОВСКИЙ М.В.	д.ф.-м.н.	05.13.18

По результатам публичной защиты диссертационный совет принял следующее заключение:

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.024.03,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ИНСТИТУТ
ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ ИМ. М.В. КЕЛДЫША РАН»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 21 марта 2019 г. № 3

О присуждении Блонскому Артёму Вадимовичу, гражданину Российской Федерации ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Математическое моделирование течений в системах трещин» по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» принята к защите 17.01.2019 г., (протокол № 1/пз) диссертационным советом Д002.024.03 на базе ФГУ «ФИЦ Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук», адрес: 125047, Москва, Миусская пл., д.4, приказ №105/нк от 11 апреля 2012 года.

Соискатель Блонский Артём Вадимович 1992 года рождения.

В 2014 году соискатель окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет» по направлению «Прикладная математика и информатика».

В 2018 году соискатель окончил очную аспирантуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

В настоящее время соискатель работает в должности руководителя проектов в Обществе с ограниченной ответственностью «Инжиниринговый центр МФТИ по трудноизвлекаемому полезным ископаемым»

Диссертация выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации

Научный руководитель - кандидат физико-математических наук, Савенков Евгений Борисович, ведущий научный сотрудник отдела № 11 Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН

Официальные оппоненты:

Соболева Елена Борисовна, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук.

Мухин Сергей Иванович, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры ВМ факультета ВМК федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана), Москва, в своем положительном заключении, подписанным Кувыркиным Георгием Николаевичем, д.т.н., профессором, заведующим кафедрой прикладной математики и утвержденном первым проректором - проректором по учебной работе, д.т.н. Зиминим В.Н. указала, что диссертация Блонского Артема Вадимовича является самостоятельно выполненной научно-квалификационной работой, содержащей новые результаты в области математического моделирования течений в трещиноватых средах. Рассматриваемые в работе задачи являются актуальными, полученные результаты обладают как научной новизной, так и практической ценностью. Работа удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к диссертациям, выполненным по специальности 05.13.18 - Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842 (в редакции Постановления Правительства от 21.04.2016 № 335), а ее автор достоин присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Вместе с тем диссертация Блонского А.В. имеет ряд недостатков:

1. В работе отсутствует обсуждение степени точности априорной информации о геометрической структуре системы трещин и её влияния на интегральные характеристики течения на больших (много больших характерного размера одной трещины) пространственных масштабах. В силу того, что точная информация о геометрических параметрах систем трещин в геофизических приложениях обычно недоступна, это делает анализ численных результатов не вполне законченным.
2. В работе представлены результаты верификационных расчётов, демонстрирующих корректность работы разработанного программного комплекса. Вместе с тем, модельные расчёты, демонстрирующие численное исследование, например, сходимости предложенных вычислительных алгоритмов в работе не представлены.

К автореферату были сформулированы следующие замечания: объём автореферата превышает определяемый Положением ВАК объём в 1 печатный лист; в списке публикаций по результатам диссертации указана работа, находящаяся в печати на момент издания автореферата.

Соискатель имеет 10 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликованных 7 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 7:

1. Блонский А.В., Митрушкин Д.А., Савенков Е.Б. Моделирование течений в дискретной системе трещин: физико-математическая модель // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2017, № 65, 28 с., doi:10.20948/prepr-2017-65.
2. Блонский А.В., Митрушкин Д.А., Савенков Е.Б. Моделирование течений в дискретной системе трещин: вычислительные алгоритмы // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша, 2017, № 66, 30 с., doi:10.20948/prepr-2017-66.
3. Блонский А.В., Савенков Е.Б., Математическая модель и алгоритм расчета течения в дискретной системе трещин с кавернами // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2017. № 133. 18 с., doi:10.20948/prepr-2017-133.
4. Блонский А.В., Савенков Е.Б., Математическое моделирование течений двухфазного флюида в трещиновато-кавернозной среде // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша, 2018, № 49, 18 с., doi:10.20948/prepr-2018-49.
5. А.В. Блонский, Д.А. Митрушкин, Исследование влияния капиллярных сил на течение в трещинах с переменным раскрытием // Математическое моделирование, 2018, Т. 30, № 9, с. 72-86.
6. А. В. Блонский, Программный комплекс для моделирования течений в системах трещин с кавернами // Вычислительные методы и программирование, 2018, Т. 19, с. 405-415.
7. Blonsky A. V. et al. Computation of Absolute and Relative Permeability Full Tensors for Fractured Reservoirs // SPE Paper SPE-187796-MS, 20 pp.

В рамках диссертационной работы автором были разработаны физико-математические модели однофазных и двухфазных течений в системе трещин и каверн, вычислительные алгоритмы и программный комплекс для моделирования течений. В работе [1] автором проведен литературный обзор физико-математических моделей и алгоритмов расчёта течений в трещиноватых средах. Разработанные физико-математические модели однофазных и двухфазных течений в системах пересекающихся трещин с учетом перетоков вдоль каверн рассмотрены в работах [3] и [4]. В работе [2],[3] и [4] описаны вычислительные алгоритмы решения уравнений модели. В работе [6] описан разработанный автором программный комплекс для моделирования течений в системах трещин, проведено сравнение разработанного программного обеспечения с аналогами. Работа [5] посвящена применению разработанных моделей и алгоритмов для численного исследования динамики вытеснения нефти водой с учетом

капиллярных сил в системах трещин с переменных раскрытием. В работе [4] представлены результаты моделирования течения в системе трещин и каверн, которые демонстрируют значимость наличия каверн на пересечениях трещин. Работа [7] посвящена применению разработанного программного комплекса для решения задачи расчёта эффективных свойств ячеек макроскопической гидродинамической модели месторождения.

Общий объем публикаций 11,6 п.л., авторский вклад – 7,8 п.л. Опубликованные статьи отражают основные результаты диссертационного исследования. Недостоверные сведения в тексте диссертации об опубликованных соискателем работах отсутствуют.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

Положительный отзыв официального оппонента Соболевой Е.Б.

В отзыве указаны следующие замечания:

1. В диссертации говорится, что в модели учитывается сжимаемость жидкостей. Однако, стоит отметить, что рассматриваемые в работе жидкости – вода и нефть – являются слабосжимаемыми, их плотность меняется мало в зависимости от давления (зависимость плотности от температуры вообще не рассматривается – среда считается изотермической). Возникает вопрос: чем обусловлена необходимость учитывать сжимаемость в случае таких жидких сред? Может быть, достаточно использовать более простую модель несжимаемой жидкости: в работе нет обстоятельного ответа на эти вопросы.
2. При моделировании двухфазного течения в системе трещин использовано лишь одно значение вязкости нефти 2.4 сП, которое соответствует маловязкой нефти. Однако известно, что этот параметр в реальных условиях может меняться в широком диапазоне в зависимости от геологических условий, достигая 200 сП и выше в случае высоковязкой нефти. Скорость течения в трещинах обратно пропорциональна вязкости, поэтому этот параметр является важным для определения динамики течения в целом. Было бы целесообразно провести расчёты при различных значениях вязкости.
3. При представлении результатов расчёта на графиках в последовательные моменты времени следовало бы указать значения времени, чтобы оценить временной масштаб вытеснения нефти водой. Это относится в первую очередь к Рис. 4.14, 4.16, 4.23.

Положительный отзыв официального оппонента Мухина С.И.

В отзыве указаны замечания:

1. Было бы целесообразно более подробно обсудить влияние входных данных (характеристик среды), которые обычно плохо известны, на результаты макро моделирования. Данное замечание, скорее есть пожелание к дальнейшей работе.
2. На стр. 35 вводится понятие «контрольного объёма» и приводится его форма в двумерном случае. Обоснование именно такого вида контрольного объёма не приведено.

3. На стр. 51 на границе контрольного объема предлагается использовать метод направленных разностей, что, по-видимому, оправдано «физикой» задачи, однако приводит к неоднородности алгоритма и к ухудшению аппроксимации. Возможно, в этом случае следовало бы использовать интегральные аппроксимации.

Поступил положительный **отзыв на автореферат** от д.ф.-м.н. **Повещенко Юрия Андреевича**, ведущего научного сотрудника отдела № 16 Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН. В отзыве имеются замечания:

1. отсутствует сравнение результатов моделирования с экспериментальными данными, что, скорее всего, связано с недоступностью последних;
2. недостаточно подробно описаны части, касающиеся алгоритмов построения сетки и программной реализации вычислительных алгоритмов.

Во всех отзывах отмечается, что указанные замечания не влияют на общую положительную оценку работы, по актуальности решаемой проблемы, научной новизне, научной и практической значимости, достоверности научных результатов диссертация удовлетворяет требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетенцией по тематике диссертационной работы. В МГТУ имени Н.Э. Баумана ведутся работы как в области моделирования широкого спектра задач и развития численных методов, так и в области решения прикладных задач по тематике, близкой к теме диссертации. Официальный оппонент Соболева Е.Б. является специалистом в области гидродинамики сложных жидкостей и математического моделирования. Официальный оппонент Мухин С.И. - специалист в области вычислительной математики и вычислительной гидродинамики. Научный уровень и компетентность оппонентов по тематике диссертации подтверждается их публикациями.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны математические модели течения однофазной и двухфазной жидкости в системах трещин с кавернами, которые учитывают как непосредственно течение в трещинах, так и течение вдоль каверн - каналов на линиях пересечения трещин, потоки флюидов между трещинами и кавернами; сжимаемость флюидов, гравитационные силы, капиллярные силы и смачиваемость породы;

для построенных математических моделей **предложены** вычислительные алгоритмы, основанные на методе конечных элементов/конечных объемов на неструктурированных треугольных сетках;

разработанные модели и алгоритмы **реализованы** в виде программного комплекса, с помощью которого выполнен ряд расчетов как валидационного, так и содержательного характера, демонстрирующих значимость учитываемых в модели эффектов и применимость разработанного программного обеспечения для решения прикладных задач.

Теоретическая ценность диссертационной работы состоит в разработанных физико-математических моделях течения однофазной и двухфазной жидкости с учётом капиллярных сил и смачиваемости породы, разработанных вычислительных алгоритмах решения задачи и программном комплексе, который позволяет моделировать течения в системах трещин с кавернами, в том числе, в реалистичных постановках. Разработанные автором математические модели и вычислительные алгоритмы учитывают расширенный, по сравнению с традиционными подходами, спектр физических эффектов, и таким образом, совместно с результатами моделирования, способствуют расширению представлений о сложной связи различных механизмов, сопровождающих процесс течения многофазного флюида в системах трещин.

Практическая значимость полученных соискателем результатов обусловлена тем, что результаты работы, в том числе и разработанное программное обеспечение, могут быть применены для решения содержательных прикладных задач, в том числе анализа течений в трещиноватых коллекторах нефти и газа.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что полученные в работе результаты являются обоснованными. При разработке математических моделей и алгоритмов автор применяет актуальные представления о механизмах вытеснения многофазного флюида в пористых средах, обоснованные теоретические подходы и строгий математический аппарат. Представленные результаты расчетов подтверждают корректность полученных теоретических результатов.

Личный вклад соискателя состоит в разработке физико-математических моделей течения в системах трещин с кавернами, вычислительных алгоритмов и программного комплекса для моделирования течений, а также проведении расчетов. Все результаты, выносимые на защиту, получены автором самостоятельно. Научный руководитель принимал участие в постановке задачи и обсуждении полученных результатов исследования.

На заседании 21.03.2018 г. диссертационный совет принял решение присудить Блонскому А. В. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек (из 25 человек, входящих в состав совета), из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, проголосовали: за 18 против - 1, недействительных бюллетеней - нет.

Зам. председателя диссертационного совета
Д 002.024.03, член-корреспондент РАН

В. Ф. Тишкин

Ученый секретарь диссертационного совета
Д 002.024.03, к.ф.-м.н.

М. А. Корнилина

21 марта 2019 г.