



Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования

«Московский государственный
технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1
Тел. (499) 263-63-91 Факс (499) 267-48-44
E-mail: bauman@bmstu.ru
ОГРН 1027739051779
ИНН 7701002520 КПП 770101001

№ _____

на № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор -

проректор по научной работе,

д.т.н. Зимин В.Н.

« 1 » марта 2019 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу БЛОНСКОГО
Артема Вадимовича «Математическое моделирование течений
в системах трещин», представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности
05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы
и комплексы программ

Диссертационная работа А.В. Блонского «Математическое моделирова-
ние течений в системах трещин» посвящена математическому моделирова-
нию однофазных и двухфазных течений в дискретных системах трещин при-
менительно к задачам динамики флюидов в трещиноватых коллекторах
нефти. В рамках работы предложены новые математические модели процесса
течения, разработаны соответствующие вычислительные алгоритмы и про-
граммный комплекс, пригодный для решения задач в содержательных с точ-



Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования

«Московский государственный
технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1
Тел. (499) 263-63-91 Факс (499) 267-48-44
E-mail: bauman@bmstu.ru
ОГРН 1027739051779
ИНН 7701002520 КПП 770101001

№ _____
на № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор -

проректору по научной работе,

_____ д.т.н. Зимин В.Н.

«_____» _____ 2019 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу БЛОНСКОГО
Артема Вадимовича «Математическое моделирование течений
в системах трещин», представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности
05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы
и комплексы программ

Диссертационная работа А.В. Блонского «Математическое моделирование течений в системах трещин» посвящена математическому моделированию однофазных и двухфазных течений в дискретных системах трещин применительно к задачам динамики флюидов в трещиноватых коллекторах нефти. В рамках работы предложены новые математические модели процесса течения, разработаны соответствующие вычислительные алгоритмы и программный комплекс, пригодный для решения задач в содержательных с точ-

ки приложений постановках, описаны результаты его применения для решения ряда задач.

Актуальность работы. В настоящее время большая часть извлекаемых запасов углеводородов относится к трещиноватым и трещиновато-поровым коллекторам, которые характеризуются существенной анизотропией проницаемости, обусловленной наличием в коллекторе развитой системы гидродинамически связанных трещин с высокой проницаемостью.

Характер течения флюида в такой системе в значительной степени определяется геометрическими свойствами системы трещин, такими как число трещин, их раскрытие и протяженность, степень их связности. Кроме того, существенное влияние на процессы вытеснения углеводородов водой оказывают поверхностные свойства заполняющих систему трещин флюидов. Учет этой информации на макроскопическом уровне при использовании усредненных моделей является не до конца решенной задачей.

По этой причине представляет интерес разработка «первичных» математических моделей, непосредственно учитывающих геометрические параметры системы трещин и физические механизмы, сопровождающие процесс течения многофазного флюида в них. К моделям такого класса относятся модели типа DFN (Discrete Fracture Network, модель дискретной системы трещин), в рамках которых каждая трещина описывается непосредственно, как отдельный геометрический объект, а течение флюида описывается уравнениями смазочного слоя в нужном приближении.

Создание новых математических моделей указанного класса и вычислительных алгоритмов для их анализа является актуальной и не до конца решенной задачей.

Исследованию этих задач (включая разработку математических моделей, вычислительных алгоритмов и комплексов программ) посвящена представленная на отзыв диссертационная работа А.В. Блонского.

Научная новизна работы. В рассматриваемой диссертационной работе предложены новые математические модели однофазных и двухфазных течений в системах гидродинамически связанных трещин. Предложены соответствующие вычислительные алгоритмы, которые реализованы в составе описанного автором программного комплекса. Представлены результаты моделирования, которые демонстрируют влияние учитываемых моделью эффектов на процесс вытеснения.

Содержание работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Работа представлена на 99 страницах, содержит 43 иллюстрации и 3 таблицы. Список литературы содержит 50 наименований.

Во введении диссертации рассмотрена специфика строения трещиноватых и трещиновато-поровых коллекторов, а также ключевые особенности течения. Описаны ключевые физические эффекты, которые необходимо учитывать при моделировании на различных пространственных масштабах. Описана актуальность задачи моделирования течений в трещиноватых коллекторах. Изложены цель, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, выносимые на защиту положения.

В первой главе проведено исследование существующих подходов к моделированию течения жидкости в трещиноватых коллекторах на различных пространственных масштабах. Представлены разработанные модели течений жидкости по системам трещин с кавернами, которые учитывают произвольное расположение трещин в пространстве, пересечения трещин, течение в трещинах, течение вдоль каверн, переток между трещинами и кавернами, сжимаемость жидкостей, гравитационные и капиллярные силы.

Во второй главе предложены вычислительные алгоритмы решения уравнений модели и алгоритмы построения согласованной треугольной сетки для системы пересекающихся трещин. Изложенные алгоритмы расчёта построены на основе метода конечных элементов/конечных объёмов.

В третьей главе описано разработанное программное обеспечение и особенности его реализации.

В четвертой главе представлены результаты моделирования течений в системах трещин с кавернами, включающие как верификационные расчёты, которые демонстрируют корректность разработанных алгоритмов, так и расчёты, демонстрирующие влияние учитываемых в модели эффектов на характер течения и показатели вытеснения нефти водой.

В заключении приведены результаты работы, указаны возможные направления развития.

Содержание диссертации последовательно и связно отражает порядок и суть проведенных исследований. Используемые в работе методы и порядок их применения описаны достаточно подробно. Оформление диссертации

и автореферата соответствует существующим требованиям. Автореферат по содержанию и структуре изложения соответствует диссертации.

Степень обоснованности научных положений и выводов. Полученные в работе выводы и выносимые на защиту положения являются обоснованными: при разработке математических моделей и алгоритмов автор применяет обоснованные теоретические подходы и строгий математический аппарат. Корректность разработанных математических моделей и вычислительных алгоритмов подтверждена рядом верификационных расчетов. Результаты диссертационной работы представлены в рецензируемых научных изданиях, в том числе, входящих в Перечень ВАК РФ, докладывались на научных конференциях и семинарах.

Практическая и научная ценность результатов работы заключается в разработанном диссертантом программном комплексе, пригодном для решения задач промышленного уровня сложности. Разработанные автором математические модели и вычислительные алгоритмы учитывают расширенный по сравнению с традиционными подходами спектр физических эффектов и, таким образом, совместно с результатами моделирования расширяют представления о сложной связи различных механизмов, сопровождающих процесс течения многофазного флюида в системах трещин. Предложенные модели и алгоритмы допускают дальнейшие обобщения и дополняют существующий теоретический задал в области математического моделирования течений в трещиноватых коллекторах.

Соответствие содержания диссертации специальности. Содержание и результаты работы полностью соответствуют паспорту специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, поскольку основными результатами работы являются: математическая модель течения жидкости в системе трещин с кавернами, вычислительные алгоритмы, программная реализация разработанных алгоритмов в виде программного комплекса.

Значимость результатов для науки и производства состоит в том, что разработанные в работе математические модели, вычислительные алгоритмы и комплекс программ расширяют возможности существующих методов математического моделирования и вычислительного эксперимента для анализа многофазных течений в трещиноватых коллекторах нефти и газа,

а также ряда других задач, связанных с анализом течений в гидродинамически связанных системах трещин.

Замечания по диссертации и автореферату. Представленные на отзыв диссертационная работа имеет ряд недостатков.

1. В работе отсутствует обсуждение степени точности априорной информации о геометрической структуре системы трещин и ее 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 расчетов, демонстрирующих корректность работы разработанного программного комплекса. Вместе с тем, модельные расчеты, демонстрирующие численное исследование, например, сходимости предложенных вычислительных алгоритмов в работе не представлены.

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

Приведенные замечания не снижают ценности работы.

Заключение

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 ре-

дакции Постановления Правительства от 21.04.2016 № 335), а ее автор достоин присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Отзыв ведущей организации на диссертацию обсужден на заседании научного семинара кафедры Прикладная математика 22 февраля 2019 года, протокол заседания № 7.

Заведующий кафедрой прикладной математики,
Лауреат премии Правительства РФ
в области науки и техники,
д.т.н., профессор



Георгий Николаевич Кувыркин

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана)

105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

Телефон: +7(499) 263 63 26,

e-mail: fn2@bmstu.ru