

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

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»

Математическое моделирование течений жидкостей и газов, как однофазных, так и многофазных в пористых и трещиноватых средах является чрезвычайно сложной задачей. Это относится и к выбору и построению моделей течения, и к построению и реализации вычислительных алгоритмов для разрешения этих моделей. Несмотря на огромное количество работ в этой области, исчерпывающих рецептов решения этих задач в полном объеме в настоящее время нет, и, по-видимому, в обозримом будущем получено не будет. Это связано, прежде всего, с разнообразием рассматриваемых задач, в каждой из которых присутствуют свои особенности сред, в которых происходит процесс, и как следствие, необходимость учитывать различные наборы факторов, влияющих на течение. Подробность моделей определяет их сложность с вычислительной точки зрения, при этом излишняя детализация может сделать расчёт затруднительным, а недостаточная может привести к неадекватному, с точки зрения практики, результату.

Диссертационная работа А.В. Блонского посвящена исследованию и развитию методов математического моделирования для одного класса из описанных задач - моделированию течений по системам естественных трещин пород коллекторов-коллекторов нефти и газа. Кроме научной значимости, решение этой задачи имеет значительную практическую ценность, так как в настоящее время большая часть извлекаемых запасов углеводородов относится к категории трудноизвлекаемых и содержится в коллекторах с развитыми системами трещин. Ключевой особенностью данного типа коллекторов является анизотропия проницаемости, обусловленная наличием трещин, которые могут образовывать основные пути течения жидкости, в случае если трещины являются высокопроницаемыми. Задача моделирования течений в трещиноватой среде сопряжена с необходимостью корректного учета сложной геометрии трещин, их взаимного расположения, взаимных свойств жидкости и породы и влияния многофазности флюида на процесс течения. Определение и полноценный учет значительного спектра факторов, влияющих на течение, требует как разработки новых математических моделей, так и эффективных вычислительных алгоритмов. Тем самым, актуальность диссертационной работы Блонского А.В. не вызывает сомнений.

В работе представлена разработанная диссертантом физико-математическая модель процесса течения жидкости в трещиноватой среде, соответствующие вычислительные алгоритмы, разработанный автором программный комплекс и результаты его применения, в том числе для решения задач в реалистичных постановках. Проведено исследование влияния структурных особенностей строения трещин, свойств жидкости и породы на процессы течения жидкости в системах трещин.

Научная новизна работы обусловлена построением новой физико-математической модели течения в системе трещин и каверн, которая включает в себя как двумерные уравнения течения в трещинах, так и одномерные уравнения течения вдоль каверн, отнесенных к линиям пересечения трещин; алгоритмы расчета уравнений модели в однофазном и двухфазном случае; программный комплекс; результаты моделирования, которые демонстрируют как качественное, так и количественное влияние учитываемых в модели физических особенностей среды и жидкостей, на процессы вытеснения нефти водой в трещиноватых коллекторах.

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 описаны особенности строения трещиноватых и трещиновато-поровых коллекторов и ключевые процессы, определяющие течение. Рассмотрены особенности моделирования течений на различных пространственных масштабах. Определена актуальность задачи моделирования течений в трещиноватых коллекторах. Сформулированы цель, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, сформулированы выносимые на защиту положения.

В первой главе рассмотрены основные подходы к моделированию течения жидкости в трещиноватых коллекторах, определён наиболее корректный подход, на основе которого выполнена диссертационная работа. Описаны разработанные модели однофазных и двухфазных течений как в чисто трещиноватой среде, так и в системе трещин с кавернами, образованных на линиях пересечения трещин. Показано, что представленные модели 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 описаны алгоритмы построения треугольной сетки для системы трещин, представляющей собой набор пересекающихся многоугольников в пространстве. Представлены разработанные алгоритмы расчета однофазных и двухфазных течений как в чисто трещиноватой среде, так и в системе трещин и каверн. При этом детально описано как связаны течение в трещинах и кавернах. Разработанные алгоритмы построены на основе метода конечных элементов/конечных объёмов.

Третья глава содержит описание разработанного программного комплекса, программных библиотек, использованных при разработке.

В четвертой главе представлены результаты моделирования, которые демонстрируют корректность и работоспособность разработанных алгоритмов. Представлены результаты, демонстрирующие влияние структуры проводящих каналов в трещине, смачиваемости породы, отношения вязкостей воды и нефти, перепада давления на течение в трещинах с переменным раскрытием. Описаны результаты моделирования течений в трещинах с кавернами, в которых наличие каверн на пересечениях трещин оказывает значительное влияние на процесс вытеснения нефти водой.

В заключении сформулированы основные результаты диссертации, и описаны возможные направления дальнейших исследований.

Основное содержание диссертации отражено в восьми печатных работах, семь из которых являются публикациями в журналах из списка ВАК. Личный вклад соискателя в

эти работы значителен. Результаты диссертации докладывались на нескольких российских конференциях и семинарах. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Полученные в диссертационной работе результаты являются обоснованными. Это связано со строгостью использованного автором математического аппарата, квалифицированным использованием современных и обоснованных представлений о механизмах, сопровождающих процесс течения многофазного флюида. Корректность построенных автором математических моделей и применимость предлагаемых вычислительных алгоритмов подтверждается представленными в работе результатами моделирования.

Научная ценность работы связана с разработанными автором диссертации математическими моделями и соответствующими вычислительными алгоритмами.

Практическая значимость связана, прежде всего, с разработанным программным комплексом, который может быть применен для решения ряда актуальных задач нефтегазодобывающей промышленности, в частности, для расчета эффективных свойств ячеек крупномасштабной усредненной фильтрационной модели по известной системе трещин и непосредственно анализа процессов вытеснения в трещиноватых средах.

Содержание и результаты работы полностью соответствуют паспорту специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. Основные результаты диссертации включают в себя результаты как в части разработки новой математической модели, так и построения вычислительных алгоритмов и разработке соответствующего программного комплекса.

Нужно отметить высокую квалификацию автора работы как в области построения математических моделей, так и в области их численного решения. Выбор учтенных в моделях физических эффектов достаточно подробно обоснован, эти эффекты математически грамотно описаны, при этом совокупность рассмотренных факторов представляется вполне замкнутой и согласованной в рамках решаемой задачи. Выбор и реализация численных методов для решения свидетельствует об отличной подготовке автора и в этой области.

Одним из достоинств работы является использование полностью неявных аппроксимации по времени, что повышает надежность численных результатов, однако создает проблемы при численной реализации, с чем автор успешно справился.

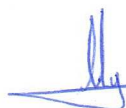
К тексту диссертационной работы есть ряд замечаний. 1. Было бы целесообразно более подробно обсудить влияние входных данных (характеристик среды), которые обычно плохо известны, на результаты макро моделирования. Данное замечание, скорее есть пожелание к дальнейшей работе. 2. На стр.35 вводится понятие «контрольного объема» и приводится его форма в двумерном случае. Обоснование именно такого вида контрольного объема не приведено. 3. На стр.51 на границе контрольного объема предлагается использования метода 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.

Приведенные замечания не снижают ценности работы. Рассматриваемые в работе задачи являются актуальными. Постановка и методы решения задач ясно изложены и обоснованы. Результаты работы обладают научной новизной и практической ценностью.

Диссертационная работа А. В. Блонского является законченным научным исследованием и 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, а ее автор достоин присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

28 февраля 2019 г.

Доктор физико-математических наук



Мухин Сергей Иванович

Организация – место работы: Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»

Структурное подразделение: кафедра вычислительных методов факультета вычислительной математики и кибернетики

Должность: профессор

Почтовый адрес: 119991 ГСП-1 Москва, Ленинские горы, МГУ имени М.В. Ломоносова, 2-й учебный корпус, факультет ВМК

Телефон: +7 916 114 51 19

Адрес электронной почты: vmmus@cs.msu.ru

Подпись и сведения заверяю.



Подпись удостоверяю
Будущий специалист по кадрам

 Т.Г. Коваленко