Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ И МЕХАНИКИ им. Н.Н. Красовского
Уральского отделения Российской академии наук
(ИММ УрО РАН)
г. Екатеринбург,
почтовый индекс 620108
ул. Софьи Ковалевской, д.16
тел.(343) 374-83-32, факс 374-25-81
E-mail dir-info@imm.uran.ru

14.11.2022 № 16343/19-2171-158
На № от .

«УТВЕРЖДАЮ»
Директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института математики и механики им. Н. Н. Красовского Уральского отделения Российской академии наук (ИММ УрО РАН)
академик РАН

Н.Ю. Лукоянов

«___» _____ 2022 года

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Бобренёвой Юлии Олеговны «Математическое моделирование массопереноса в коллекторах трещиновато-порового типа», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

1. Актуальность темы исследований.

Диссертационная работа Бобреневой Ю.С. посвящена построению математической модели, разработке численных алгоритмов и комплекса программ для моделирования фильтрации жидкости при проведении гидродинамического исследования в коллекторе трещиновато-порового типа.

Роль карбонатных коллекторов в развитии нефтяной промышленности в России возрастает. Карбонатные коллекторы – это колоссальное количество пластов с залежами нефти, которые отличаются своим разнообразием. Именно в этих коллекторах накапливается весомая часть (~50-60 %) от всеобщих мировых залежей углеводородов. Продуктивные пласты с коллектором данного типа на сегодняшний день недостаточно изучены по сравнению с обычными терригенными пластами.

Разработка нефтяных залежей с карбонатными коллекторами характеризуется рядом специфических особенностей, которые связаны с течением флюида в среде с

двойной пористостью. Процесс фильтрации в таких средах не описывается с достаточной точностью классическими моделями фильтрации и требует более сложных моделей двойной пористости.

Для рациональной разработки нефтяных и газовых залежей важным является наличие информации высокого качества о фильтрационно-емкостных свойствах коллектора, что напрямую связано с изучением особенностей фильтрации. Изучение свойств продуктивного пласта, как правило, осуществляется путем промыслово-геофизических, лабораторных и гидродинамических методов исследования, но самым эффективным из них являются гидродинамические исследования, т.к. по сравнению с другими позволяют определять параметры пласта на больших расстояниях от скважины (до ~300 м).

Для однопоровых коллекторов разработаны эффективные алгоритмы, однако для случаев двойной среды ситуация усложняется. Существующие программные продукты не позволяют проводить полный спектр расчетов и не всегда вычислительно эффективны, что ограничивает круг решаемых задач. Поэтому существует необходимость в создании быстросчетного инструмента, который позволит решать задачи оперативного планирования, возникающие при разработке месторождений в области гидродинамических исследований скважин.

2. Краткое содержание диссертационной работы.

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и списка используемой литературы. Общий объем работы составляет 129 страниц, включает 47 иллюстраций, 4 таблицы, список литературы содержит 138 наименований.

Во введении обоснована актуальность выполненной научной работы, сформулированы цель и задачи диссертационного исследования, приведены научные результаты, выносимые на защиту, указана их научная новизна и практическая значимость.

В первой главе проведен литературный обзор отечественных и зарубежных источников по теоретическим и экспериментальным работам, посвященных изучению однофазной и двухфазной фильтрации жидкости в коллекторе трещиновато-порового типа. Рассмотрены модели двойной пористости различных

авторов, изучены существующие подходы и современные программные комплексы для решения задачи фильтрации жидкости в карбонатных коллекторах при проведении гидродинамических исследований в добывающих скважинах. Приведены актуальность и обзор существующих методов гидродинамических исследований скважин.

Во второй главе представлены физическая и математическая модели процесса фильтрации однофазной жидкости в коллекторе трещиновато-порового типа для моделирования гидродинамического исследования при неустановившемся режиме течения в добывающей скважине с учетом влияющих на исследование процессов.

Третья глава посвящена построению разностной схемы, разработке программного комплекса и проведению вычислительного эксперимента по моделированию гидродинамического исследования при неустановившемся режиме течения в добывающей скважине, а также инженерному анализу чувствительности входных параметров.

Четвертая глава посвящена разработке математической модели, описывающей двухфазное течение в трещиновато-пористой среде. Определяется исходная система уравнений, проводится алгоритм расщепления по физическим процессам для дальнейшего применения эффективных алгоритмов решения. Исследуются свойства уравнений, описывается метод их решения.

В пятой главе описывается разностная схема для решения преобразованной системы, полученной в четвертой главе. Предлагается численная схема, которая обладает рядом свойств, обеспечивающая устойчивость решения задачи. Разрабатывается программный комплекс и проводится вычислительный эксперимент по моделированию полей давления для работающей добывающей скважины.

В шестой главе проведено тестирование математических моделей на примере реального карбонатного месторождения трещиновато-порового типа. На основе параметров, характерных для данного месторождения, построена математическая модель для гидродинамического исследования методом кривой восстановления давления на добывающей скважине. Построена пространственно-временная

динамика изменения давления для скважины при различных ситуациях. Определена оптимальная длительность остановки скважины на исследование.

В заключении сформулированы основные научные результаты и выводы.

3. Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем.

1. Построена новая флюидодинамическая модель для трещиновато-поровых коллекторов в рамках модели двойной пористости для описания гидродинамических исследований методом кривой восстановления давления в добывающей скважине с учетом влияния процессов, которые возникают при закрытии скважины на исследование.

2. Предложены разностные схемы с временными весами на основе метода расщепления модели по физическим процессам и разработаны новые эффективные вычислительные алгоритмы для решения полученных систем уравнений модели, обеспечивающих корректность и согласованность потоков в системе трещин и поровом коллекторе.

3. Разработан программный комплекс для моделирования гидродинамического исследования на неустановившемся режиме течения в добывающей скважине в случае однофазной и двухфазной фильтрации жидкости в коллекторе трещиновато-порового типа.

4. Выполнены параметрические исследования динамики давления и насыщенности в зависимости от значений проницаемости, влияния ствола скважины и скин-фактора, расчётов оптимального времени длительности остановки скважины с минимальными потерями по добыче, необходимого для проведения гидродинамического исследования на неустановившемся режиме.

4. Достоверность и обоснованность научных положений и выводов.

Достоверность полученных результатов подтверждается путем сравнения результатов численного моделирования с промысловыми данными, полученными во время проведения натурного эксперимента, а также воспроизведением известных результатов других исследователей, использованием обоснованных методов построения математических моделей и алгоритмов.

5. Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретическая значимость работы заключается в разработке и развитие новых вычислительных алгоритмов для исследования массопереноса в трещиновато-поровых коллекторах при проведении гидродинамических исследований. Практическая значимость заключается в создании программного комплекса для моделирования процесса фильтрации жидкости в коллекторе трещиновато-порового типа, который может применяться в качестве инструментария при планировании гидродинамических исследований на неустановившихся режимах течения, в частности, для исследований методом кривой восстановления давления на добывающей скважине. Программный комплекс позволяет моделировать поведение давления в пласте в зависимости от натурных данных, полученных в рамках других видов исследований нефтяной отрасли, что в конечном результате дает возможность определить оптимальное время остановки скважины на гидродинамическое исследование, тем самым избежать дополнительных потерь по добыче.

Данный программный комплекс может быть использован для расчета оптимальных режимов работы скважин. Результаты диссертационной работы могут быть использованы в Институте нефтехимии и катализа РАН, ООО «РН-БашНИПИнефть», ООО «Башнефть-Петротест», а также в высших учебных заведениях: ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» для численного решения задач и изучения процессов течения жидкости в коллекторе.

6. Стиль и оформление работы.

Диссертационная работа логично структурирована, написана грамотным техническим языком, снабжена достаточным количеством рисунков, таблиц и графиков. Текст диссертации оформлен в соответствие с требования Министерства высшего образования и науки РФ.

7. Апробация работы.

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на всероссийских и международных конференциях и семинарах. По теме диссертации опубликовано 24 научных работы, из них 7 статей опубликованы в

изданиях, индексируемых в базе данных Scopus, 3 статьи в изданиях, включенных в перечень ВАК, получено свидетельство о регистрации программ для ЭВМ.

8. **Замечания по диссертационной работе,** не снижающие общего высокого уровня исследования.

1. В работе, согласно рассматриваемым задачам, разработано два программных модуля. Описание первого программного модуля было представлено в главе 3, а описание второго – не представлено, приведены лишь результаты вычислительных экспериментов.

2. Во второй главе, стр. 42, представлен рисунок 2.1 Схема скважины с нанесенными на нём подписями в виде аббревиатур, однако дальше по тексту нигде не представлена их расшифровка.

3. В третьей главе, при проведении вычислительных экспериментов, в начальных данных единицы измерения проницаемости представлены в системе СИ, а именно в м^2, на рисунках 3.8, 3.9, 3.13, 3.14, а также в пятой главе на рисунке 5.2 проницаемость уже указана в мД.

4. В диссертации отсутствует информация об акте внедрения программного продукта в производство. Разработанный программный продукт предлагалось внедрить в работу заинтересованных организаций.

Содержание автореферата правильно и в полной мере отражает основные положения диссертации, ее результаты и выводы.

9. Заключение.

Диссертационная работа соответствует специальности 1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ: пункту 5 – «Эффективные вычислительные методы и алгоритмы с применением современных компьютерных технологий»; пункту 6 – «Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента» (программный комплекс для моделирования гидродинамического исследования в коллекторе трещиновато-порового типа); пункту 7 – «Проблемно-ориентированные коды и вычислительные эксперименты. Сравнение результатов вычислительных экспериментов либо с

результатами натурных экспериментов, либо с результатами анализа математических моделей» (Численные исследования динамики давления и насыщенности в зависимости от значений проницаемости, влияния ствола скважины и скин-фактора).

Диссертационная работа Бобренёвой Юлии Олеговны является завершенной научно-квалификационной работой, в которой разработаны новые вычислительные алгоритмы и новый программный комплекс, позволяющий моделировать фильтрацию жидкости в рамках модели двойной пористости в коллекторе трещиновато-порового типа. Разработанные алгоритмы и комплекс программ имеют научную и практическую значимость в развитии математического моделирования сложных процессов течения жидкости в нефтяных коллекторах. Проведенные исследования процессов при различных фильтрационно-емкостных свойствах пласта, в условиях загрязнения призабойной зоны, на разных удаленностях от скважины на промысле имеют существенное значение для изучения и развития карбонатных коллекторов в нефтяной промышленности страны.

Диссертация в полной мере соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук согласно п.9 «Положения о присуждении ученых степеней» (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842 «О порядке присуждения ученых степеней» с изменениями постановления Правительства Российской Федерации от 21 апреля 2016 года №335 «О внесении изменений в Положение о присуждении ученых степеней»). Отмеченные выше замечания не снижают общей высокой оценки диссертационной работы.

Считаем, что диссертационная работа Бобренёвой Юлии Олеговны «Математическое моделирование массопереноса в коллекторах трещиновато-порового типа» выполнена на высоком научном уровне и удовлетворят требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор – Бобренева Юлия Олеговна – заслуживает присуждения ученой степени

кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Отзыв на диссертацию Бобренёвой Ю.О. обсужден и одобрен на заседании отдела прикладных задач ИММ УрО РАН, протокол № 7 от « 03 » ноября 2022 г.

Отзыв подготовили:

Зав. отделом прикладных задач ИММ УрО РАН,
д.ф.-м.н., профессор _____ А.И. Короткий

В.н.с. ИММ УрО РАН, д.ф.-м.н., доцент _____ Е.Н. Акимова

Дата « 07 » ноября 2022 г.

Контактные данные:
Короткий Александр Илларионович
доктор физико-математических наук по специальности 01.01.02 – Дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление.

Акимова Елена Николаевна,
доктор физико-математических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Полное наименование организации:
Федеральное государственное бюджетное учреждения науки
Институт математики и механики им. Н.Н. Красовского Уральского
отделения Российской академии наук (ИММ УрО РАН),
620108, г. Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, д. 16;
телефон: +7 (343) 374-83-32;
факс: +7 (343) 374-25-81;
сайт: www.imm.uran.ru;
электронная почта: dir-info@imm.uran.ru

Подписи А.И. Короткого и Е.Н. Акимовой заверяю:
Ученый секретарь ИММ УрО РАН,
кандидат физ.-мат. наук _____ / О.Н. Ульянов /