

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.237.01,
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
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 08 декабря 2022 г. № 6

О присуждении **Бобренёвой Юлии Олеговне**, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Математическое моделирование массопереноса в коллекторах трещиновато-порового типа», представленная на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», принята к защите 29 сентября 2022 года (протокол заседания № 6/пз) диссертационным советом 24.1.237.01 на базе Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша Российской академии наук», 125047, Москва, Миусская пл., д. 4. Диссертационный совет утвержден приказом Минобрнауки России №105/нк от 11 апреля 2012 года.

Соискатель **Бобренёва Юлия Олеговна** 1990 года рождения, в 2014 году окончила Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный университет» с присвоением квалификации магистр по направлению подготовки 01.04.00 – Прикладная математика и информатика.

В 2017 году окончила очную аспирантуру Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института нефтехимии и

катализа Российской академии наук по направлению подготовки 02.06.01 – Компьютерные и информационные науки.

В настоящее время соискатель работает в должности ведущего специалиста в ООО «РН-БашНИПИнефть».

Диссертация выполнена в Институте нефтехимии и катализа – обособленного структурного подразделения Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИНК УФИЦ РАН).

Научный руководитель – Губайдуллин Ирек Марсович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией математической химии ИНК УФИЦ РАН.

Официальные оппоненты:

Колдоба Александр Васильевич, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, заведующий кафедрой моделирования и технологий разработки нефтяных месторождений ФГАОУ ВО «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)»;

Чистяков Александр Евгеньевич, доктор физико-математических наук, профессор кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем Донского государственного технического университета (ДГТУ)

дали **положительные** отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Института математики и механики им. Н. Н. Красовского Уральского отделения Российской академии наук (ИММ УрО РАН), г. Екатеринбург, в своем **положительном** отзыве, подписанным **Коротким Александром Илларионовичем**, доктором физико-математических наук, профессором, заведующим отделом прикладных задач ИММ УрО РАН и **Акимовой Еленой Николаевной**, доктором физико-математических наук, доцентом, и утвержденным **Лукояновым Николаем Юрьевичем**,

академиком РАН, доктором физико-математических наук, директором ИММ УрО РАН, указала, что диссертационная работа является завершённой 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. Проведённые 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 «Математическое моделирование массопереноса в коллекторах трещиновато-порового типа» отвечает требованиям Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 «О порядке присуждения ученых степеней», предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Бобренёва Юлия Олеговна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Соискатель имеет 24 научных работы, из них 3 – в изданиях, включенных в перечень ВАК, 7 – в изданиях, индексируемых в Scopus, получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019664711.

Список публикаций по теме диссертационной работы:

1. Бобренёва Ю.О. Моделирование процесса пьезопроводности двухфазной жидкой системы в коллекторе трещиновато-порового типа // Математическое моделирование. – 2022. – Т. 34, № 1. – С. 33-46. (ВАК, RSCI, РИНЦ).

Перевод: Bobreneva Yu.O. Modeling the Piezoconductivity Process of a Two-Phase Fluid System in a Fractured-Porous Reservoir. *Mathematical Models and Computer Simulations*. – 2022. V. 14, № 4. – P. 645-653. (Scopus)

2. Бобренёва Ю.О., Рагимли П.И., Подрыга В. О., Бажитова С.С., Бакир А.Э., Абу-Наб А.К. Об одном методе численного моделирования двухфазной жидкой системы в коллекторе трещиновато-порового типа // *Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша*. – 2021. – № 38. – 20 с. (ВАК, РИНЦ).

3. Иващенко Д.С., Бобренёва Ю.О., Гимранов И.Р., Давлетбаев А.Я., Сергейчев А.В., Щутский Г.А. Комплексование результатов гидродинамических исследований и геомеханико-гидродинамического моделирования для прогнозирования зон аномально высокого пластового давления // *Нефтяное хозяйство*. – 2019. – № 6. – С. 66-70. (ВАК, Scopus, RSCI, РИНЦ).

4. Bobreneva Yu.O., Mazitov A.A., Gubaydullin I.M. Researching the mechanisms of fluid flow in the fracture-porous reservoir based on mathematical modeling // *Computational Mathematics and Information Technologies*. – 2018. – V. 2, № 2. – P. 133-143. (Scopus, РИНЦ).

5. Bobreneva Yu.O., Mazitov A.A. and Gubaydullin I.M. Mathematical modelling of fluid flow processes in the fracture-porous reservoir // *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series*. – 2019. – V. 1096. – 012187. (Scopus, РИНЦ).

6. Bobreneva Yu.O., Gubaidullin I.M. Mathematical simulation of a pressure field exemplified by dual porosity reservoir // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2019. – V. 1368– 042067. (Scopus, РИНЦ).

7. Bobreneva Yu.O., Rahimly P.I., Poveshchenko Yu.A., Podryga V.O., Enikeeva L.V. On one method of numerical modeling of piezoconductive processes of a two-phase fluid system in a fractured-porous reservoir // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2021. – V. 2131. – 022001. (Scopus, РИНЦ).

8. Bobreneva Yu.O., Rahimly P.I., Poveshchenko Yu.A., Podryga V.O., Enikeeva L.V. Numerical modeling of multiphase mass transfer processes in

fractured-porous reservoirs // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – V. 2131. – 022002. (Scopus, РИНЦ).

9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019664711 от 13.11.2019. «Программный модуль для построения полей давления в коллекторах трещиновато-порового типа». Авторы: Бобренёва Ю.О., Мазитов А.А., Губайдуллин И.М.

Личный вклад автора во все работы является первостепенным. Работа [1] подготовлена соискателем самостоятельно и посвящена описанию математической модели, разработке эффективного численного метода и проведению вычислительных экспериментов фильтрации жидкости в коллекторе трещиновато-порового типа. В работах [2, 7, 8] соискателю принадлежит физико-математическая модель процесса массопереноса двухфазной фильтрации жидкости в коллекторе трещиновато-порового типа. В работе [3], вклад автора заключался в разработке алгоритма выявления зон высокого пластового давления, интерпретации и анализе гидродинамических исследований на скважинах и вычислительных экспериментах. В работах [4, 5, 6] соискателю принадлежит вычислительный алгоритм для решения системы уравнений модели, описывающей разработанную им физико-математическую модель. В работе [9] вклад автора заключался в разработке программного комплекса для моделирования гидродинамического исследования методом кривой восстановления давления в коллекторах трещиновато-порового типа.

Научные статьи отражают основные результаты диссертационной работы. Недостоверных сведений в тексте диссертации об опубликованных соискателем работах нет.

На диссертацию поступили отзывы ведущей организации и оппонентов, также поступило 5 отзывов на автореферат. Все отзывы положительные. Отзывы содержат ряд замечаний:

В отзыве ведущей организации ИММ УрО РАН:

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 предлагается внедрить в работу заинтересованных данной областью организаций.

5. В диссертационной работе не приводится ссылка на сайт, где размещено разработанное программное обеспечение. В качестве рекомендации предлагается выложить код программного комплекса в открытый доступ.

В отзыве официального оппонента д.ф.-м.н. Колдобы А.В.:

1. Во второй главе в формуле (2.10) не прокомментирован коэффициент 18.41.

2. В разделе 3.2 описание алгоритма матричной прогонки сделано слишком схематично. В частности, не понятно, какой смысл имеют коэффициенты, и где они затем используются. Было бы полезно выписать прогоночные «коэффициенты».

3. При тестировании разработанного программного комплекса и проведении расчетов нигде не указана подробность расчетной сетки.

4. В модели представленной уравнениями (4.1), (4.3) и (4.6), (4.7) учитывается фильтрационный поток в матрице, которым затем пренебрегают. Уместно было бы сразу рассматривать систему уравнений (4.9), численному интегрированию, которой посвящена глава 4. Ни в главе 4, ни в главе 5 не указано, как плотность флюидов зависит от давления.

5. В работе используются пространственные операторы и их многочисленные разностные аналоги. Так как рассматриваемые в диссертации задачи одномерны, можно было обойтись только оператором $\frac{\partial}{\partial r}$.

В отзыве официального оппонента д.ф.-м.н. Чистякова А.Е.:

1. Применение термина «массоперенос» к задаче, представленной уравнением вида «диффузии» в полярной системе координат, не совсем удачен. Уравнение переноса описывает транспорт изучаемой субстанции за счет конвективного движения среды, а в данной задаче он отсутствует (равен нулю).

2. Отсутствует сопоставление результатов расчетов, выполненных на основе явной и неявной разностных схем, для задачи массопереноса в зависимости от выбора шага по времени. Не приведены оценки погрешности решения этой задачи в зависимости от выбора шага по времени.

3. Не выполнена проверка консервативности модели массопереноса при ее дискретизации неявной схемой вида (3.11) с аппроксимацией граничных условий согласно равенствам (3.20) и (3.23).

4. Аппроксимация (3.23), выполненная на основе разложения неизвестной функции в ряд Тейлора, не учитывает радиус контура питания r_e . Не понятно, чем представление граничного условия на внешнем контуре расчетной области отличается от аппроксимации плоской границы. Данную аппроксимацию следовало бы выполнить на основе интегро-интерполяционного метода, также как и на левой границе.

5. Для одномерной задачи с уравнением, которое может быть отнесено к типу уравнений «теплопроводности», относительная погрешность достаточно велика, ее значение составило 5-7%.

В отзыве на автореферат от д.ф.-м.н. Карпенко Анатолия Павловича, профессора, заведующего кафедрой РК-6 «Системы автоматизированного проектирования» МГТУ им. Н.Э.Баумана:

1. Не обосновано использование метода конечных разностей для решения дифференциальных уравнений в частных производных (1) – (4), а также равномерной по пространству и времени конечноразностной сетки.

2. Имеются погрешности в оформлении автореферата: определены не все обозначения, использованные в формулах (4); в текстах, предшествующих формулам (4), (9), ошибочно поставлены точки вместо двоеточия; в перечислениях после слова «где» следовало бы использовать тоску с запятой.

В отзыве на автореферат от д.ф.-м.н. Матвеева Леонида Владимировича, доцента, директора ИБРАЭ РАН:

1. При построении модели (как для распределения в однофазном случае, так и для эволюции насыщения для двухфазного флюида) слагаемое, определяющее обмен между трещинами и пористыми блоками записывается в приближении так называемого «среднего поля», когда не учитываются локальные (на масштабах отдельных блоков) градиенты. Это, вообще говоря, накладывает ограничения на пространственно-временной диапазон применимости модели. Так, например, при расчете динамики давления, представленном на рис.16, автор рассматривает изменение давления на масштабе порядка двух метров. С другой стороны, как следует из формулы (3) автореферата и выбранного значения параметра сигма (коэффициент трещиноватой породы), равного 0.12 м^{-2} (страница 19), характерные размеры поровых блоков при этом должны быть порядка 30 метров. По-видимому, этот факт надо учитывать при оценке точности результатов.

2. Также требуется пояснить, почему автор различает плотности нефти (и воды) в трещинах и порах (формулы (9), (15), (19), (20), (22) автореферата).

В отзыве на автореферат от д.т.н. Баркалова Константина Александровича, доцента, профессора кафедры математического обеспечения и суперкомпьютерных технологий Института информационных технологий, математики и механики Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского:

1. Не пояснен выбор параллелепипедов в качестве блоков, использующихся в геометрической модели поровой части коллектора. Также было бы полезным пояснить, почему для решения блочной трехдиагональной СЛАУ был выбран именно метод матричной прогонки, а для линеаризации нелинейной системы уравнений – метод хорд. В автореферате не приведены характеристики оборудования, на котором проводились вычислительные эксперименты, а также не указано характерное время, требующееся для расчетов. В тексте присутствуют несогласованные фразы (например, «...граничными условиями, заданные...», «...рядом свойств, обеспечивающая...» и др.)

В отзыве на автореферат от д.т.н. Никитиной Аллы Валерьевны профессора кафедры Интеллектуальных и многопроцессорных систем Института компьютерных технологий и информационной безопасности Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет»:

1. Из текста автореферата неясно как на примере месторождения им. Р. Требса было рассчитано оптимальное время остановки скважины с минимальными потерями по добыче.

В отзыве на автореферат от д.ф.-м.н. Соколинского Леонида Борисовича, проректора по информатизации, заведующего кафедрой системного программирования Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-

Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» замечаний нет.

В присланных отзывах отмечается, что замечания не являются существенными, выбранные направления исследования и методы их реализации достаточно обоснованы и логичны, основные результаты работы в достаточной мере отражены в публикациях и изданиях, рекомендованных ВАК для публикации научных результатов, прошли апробацию на международных и всероссийских конференциях и семинарах. Работа поддержана грантами РФФИ и РНФ. По актуальности решаемой проблемы, научной новизне, практической значимости, а также 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 наук.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их широкой известностью и высоким уровнем компетентности по всем основным вопросам, рассмотренным в диссертации, включая разработку новых математических моделей массопереноса в случаях однофазной и двухфазной фильтрации для описания гидродинамического исследования в коллекторе трещиновато-порового типа, разработку и анализ новых вычислительных алгоритмов, реализации их в виде программного комплекса, применение методов и средств математического моделирования для решения сложных научно-практических задач, что подтверждается списком публикаций официальных оппонентов и сотрудников ведущей организации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1. **Построена** математическая модель массопереноса в случаях однофазной и двухфазной фильтрации для описания гидродинамического исследования методом кривой восстановления давления в рамках модели двойной пористости в коллекторе трещиновато-порового типа.

2. **Построены** разностные схемы с временными весами на основе алгоритма расщепления модели по физическим процессам, обеспечивающие корректность и согласованность потоков в системе трещин и поровом коллекторе.

3. **Разработан** программный комплекс, реализующий построенные модели и алгоритмы, который позволяет моделировать фильтрацию жидкости в рамках модели двойной пористости в коллекторе трещиновато-порового типа с учетом практических особенностей, возникающих при проведении гидродинамических исследований.

4. **Выполнены** вычислительные эксперименты, которые показали хорошую согласованность с промысловыми данными. На примере месторождения им. Р. Требса проведены исследования процессов при различных фильтрационно-емкостных свойствах пласта, условиях загрязнения призабойной зоны, на различной удаленности от скважины. Для проведения гидродинамического исследования методом кривой восстановления давления рассчитано оптимальное время остановки скважины с минимальными потерями по добыче.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что разработана новая научно-обоснованная математическая модель массопереноса двухфазной жидкости в коллекторе трещиновато-порового типа; построены разностные схемы с временными весами на основе алгоритма расщепления модели по физическим процессам, обеспечивающие

корректность и согласованность потоков в системе трещин и поровом коллекторе.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что разработанный программный комплекс позволяет проводить экспресс-оценки требуемой длительности остановки нефтяной скважины для исследования и осуществлять детальное изучение процессов флюидодинамики при различных условиях, учитывающих фильтрационно-емкостные свойства пласта, загрязнения призабойной зоны, различное удаление от скважины на промысле.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что в основе построения математической модели лежат хорошо обоснованные методы и алгоритмы; результаты численного моделирования подтверждаются хорошим соответствием промысловым данным, полученным во время проведения натурного эксперимента, а также воспроизведением известных результатов других исследователей.

Личный вклад Бобренёвой Ю.О. состоит в том, что она самостоятельно разработала математическую модель массопереноса в случаях однофазной и двухфазной фильтрации для описания гидродинамического исследования скважины, вычислительные алгоритмы и программный комплекс, выполнила валидацию программного комплекса путем сравнения с частным аналитическим решением, провела большой объем вычислительных экспериментов, варьируя такие параметры, описывающие влияние ствола скважины, скин-фактор и параметры двойной пористости для реального месторождения им. Р. Требса, провела исследования процессов при различных фильтрационно-емкостных свойствах пласта, представила рекомендации по выбору оптимального

времени остановки скважины для проведения гидродинамического исследования с минимальными потерями по добыче.

В целом диссертация Бобренёвой Юлии Олеговны представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, содержащую решение актуальной задачи математического моделирования массопереноса в карбонатных коллекторах трещиновато-порового типа, которая имеет большое значение для развития математического моделирования сложных процессов флюидодинамики и представляет практический интерес при разработке программного обеспечения для гидродинамических исследований нефтяных скважин.

В ходе защиты вопросы соискателю задали члены диссертационного совета д.ф.-м.н. Колесниченко А.В., д.ф.-м.н. Меньшов И.С., д.ф.-м.н. Гаранжа В.А., д.ф.-м.н. Василевский Ю.В. Существенных замечаний в ходе защиты диссертации высказано не было. Бобренёва Ю.О. ответила на заданные ей вопросы, согласилась с рядом замечаний и дала свои комментарии в необходимых случаях.

В дискуссии приняли участие д.ф.-м.н. Повещенко Ю.А, д.ф.-м.н. Тишкин В.Ф.

На заседании 8 декабря 2022 г. диссертационный совет принял решение за разработку и обоснование новых математических моделей массопереноса в случаях однофазной и двухфазной фильтрации в коллекторе трещиновато-порового типа, разностных схем с временными весами на основе алгоритма расщепления модели по физическим процессам и программного комплекса для проведения гидродинамического исследования, вносящих существенный вклад в развитие математического моделирования, численных методов и комплексов программ, присудить Бобренёвой Юлии Олеговне ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 –

«Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 3 доктора наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 15, против 1, недействительных бюллетеней нет.

Зам. председателя

диссертационного совета 24.1.237.01

Тишкин В.Ф.

Ученый секретарь

диссертационного совета 24.1.237.01

Корнилина М.А.

08 декабря 2022 года

