

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 999.141.03
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
НАУЧНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ЦЕНТР ИНФОРМАЦИОННЫХ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ, ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ДИНАМИКИ СИСТЕМ И ТЕОРИИ
УПРАВЛЕНИЯ ИМЕНИ В.М. МАТРОСОВА СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ФЕДЕРАЛЬНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «СИБИРСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И
ИНФОРМАТИКИ» МИНИСТЕРСТВА ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ И
МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 2 июля 2021 г. № 52

О присуждении Маркову Павлу Владимировичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Исследование и применение дискретных моделей фильтрации на различных масштабах пористой среды» по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» принята к защите 23 апреля 2021 г., протокол № 49, диссертационным советом Д 999.141.03, созданным на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 630090, ФИЦ ИВТ, пр. Академика Лаврентьева, 6, г. Новосибирск, Россия; Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова Сибирского отделения Российской академии наук Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 664033, ИДСТУ СО РАН, ул. Лермонтова, 134, г. Иркутск, Россия; федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский

государственный университет телекоммуникаций и информатики» Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации, 630102, СибГУТИ, ул. Кирова, 86, г. Новосибирск, Россия. Приказ Минобрнауки России от 09 ноября 2012 г. № 717/нк.

Соискатель Марков Павел Владимирович 1988 года рождения, в 2011 г. окончил государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тюменский государственный университет», в 2013 г. окончил магистратуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Тюменский государственный университет», в 2017 году окончил аспирантуру федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Тюменский государственный университет», работает главным инженером проекта в Управлении региональных проектов по технологическому сопровождению разработки месторождений Общества с ограниченной ответственностью «Пермский инженерно-технический центр «Геофизика». Диссертация выполнена на кафедре математического моделирования Института математики и компьютерных наук федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Тюменский государственный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук Родионов Сергей Павлович, работает главным научным сотрудником в лаборатории нефтегазовой механики Тюменского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук.

Официальные оппоненты

Байков Виталий Анварович, доктор физико-математических наук, профессор, Общество с ограниченной ответственностью «РН-БашНИПИнефть», г. Уфа, старший эксперт бюро старших экспертов,

Головин Сергей Валерьевич, доктор физико-математических наук, профессор РАН, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения

Российской академии наук, г. Новосибирск, главный научный сотрудник лаборатории цифровых и интеллектуальных систем добычи углеводородов, дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина», г. Москва, в своем положительном заключении, подписанном Каневской Региной Дмитриевной, доктором технических наук, заведующей кафедрой прикладной математики и компьютерного моделирования федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина», указала, что диссертация Маркова П.В. полностью соответствует паспорту специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», а сам соискатель заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук.

Соискатель имеет 28 опубликованных научных работ (в скобках в числителе указан общий объем этого типа публикаций в печатных листах, в знаменателе – объем, принадлежащий лично автору), в том числе 6 статей (8.4 п.л./5.5 п.л.) в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК для представления основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора или кандидата наук, 4 статьи (3.5 п.л./3.2 п.л.) в рецензируемых журналах (Scopus и Web of Science), 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, а также 18 работ, опубликованных в материалах и тезисах всероссийских и международных конференций, в сборниках статей и научных журналах (5.4 п.л./5.1 п.л.).

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

Марков, П.В. Групповая классификация дискретных динамических систем / П.В. Марков. // Нелинейная динамика. – 2013. – Т. 9, № 4. – С. 641–649.

Марков, П.В. Использование моделей микроструктуры пористой среды при расчете фильтрационных характеристик для гидродинамических моделей /

П.В. Марков, С.П. Родионов. // Нефтепромышленное дело. – 2015. – № 11. – С. 64-75.

Марков, П.В. Метод ускорения серийных численных расчетов уравнений многофазной фильтрации в пористой среде с помощью непрерывных групп симметрий / П.В. Марков, С.П. Родионов. // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 2015. – № 12. – С. 23-30.

Шабаров, А.Б. Методы определения функций относительной фазовой проницаемости в задачах многофазной фильтрации / А.Б. Шабаров, А.В. Шаталов, **П.В. Марков**, Н.В. Шаталова. // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. – 2018. – Том 4, № 1. – С. 79-109.

Марков, П.В. Решение обратной задачи построения стохастических моделей поровых сетей на основе данных масштаба регионов нефтегазоносных пластов / П.В. Марков. // Перспективы науки. – 2019. – № 6(117). – С. 65-71.

Марков, П.В. Групповая классификация разностных схем параболических дифференциальных уравнений одно- и двухфазной фильтрации в пористых средах / П.В. Марков. // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Естественные и технические науки. – 2019. – № 8. – С. 85-90.

Markov, P.V. The Relative Permeability Regions Assignment on the Basis of Pore Network Models Parameters Distributions / P.V. Markov. // International Conference & Exhibition «Saint Petersburg 2016». – Saint Petersburg, Russia, 2016. – P. 1-5.

Markov, P.V. Rock Typing on the Basis of Pore-scale Models and Complex Well Log Interpretation Parameters / P.V. Markov, S.P. Rodionov. // International Conference & Exhibition «Tyumen 2017». – Tyumen, Russia, 2017. – P. 1-5.

Markov, P. Group classification applications for analysis of discrete models of flow in porous media / P. Markov. // Journal of Physics: Conference Series. – 2017. – Vol. 894. – P. 1-7.

Markov, P. Numerical Simulation Using Finite-Difference Schemes with Continuous Symmetries for Processes of Gas Flow in Porous Media. / P. Markov, S. Rodionov // Computation. – 2019. – Vol. 7(3). – P. 1-18.

Помимо отзывов от оппонентов и ведущей организации на диссертацию и автореферат поступило 5 отзывов (все отзывы положительные).

Это отзывы от: 1) **Юрьева А.В.** (к.т.н, ведущий инженер Управления проектного сопровождения лабораторных исследований Центра исследования керна и пластовых флюидов Филиала ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть» в г. Перми, г. Пермь); 2) **Степанова С.В.** (д.т.н., старший эксперт подразделения ЗГД по науке Общества с ограниченной ответственностью «Тюменский нефтяной научный центр», г. Тюмень); 3) **Насыбуллина А.В.** (д.т.н., заведующий кафедрой разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений нефтегазового факультета государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Альметьевский государственный нефтяной институт», г. Альметьевск); 4) **Индрупского И.М.** (д.т.н., заведующий лабораторией газонефтеконденсатоотдачи пластов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем нефти и газа Российской академии наук, г. Москва); 5) **Мулявина С.Ф.** (д.т.н., профессор кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» Института геологии и нефтегазодобычи федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тюменский индустриальный университет», г. Тюмень).

В отзывах высказаны следующие критические замечания (приведены наиболее существенные):

- 1) Метод размножения численных решений работает только для семейств уравнений с начальными и граничными условиями, которые связаны между собой преобразованиями из групп симметрии. В частности, в рассматриваемых примерах используются фазовые проницаемости и капиллярные кривые специального вида, допускающего использование метода. Непонятно, как предполагается применять этот метод на макромасштабе, если на основе поровой сети или по данным керна будут получены зависимости фильтрационных параметров общего вида.
- 2) Следовало бы подробнее остановиться на проблемах выделения регионов в межскважинном пространстве, использования скважинных данных здесь явно недостаточно.

- 3) Для разностных схем решения дифференциальных уравнений обычно предъявляются требования устойчивости, консервативности, монотонности и проч., что важно с точки зрения качества и скорости получения численных решений. В диссертации не поясняется, какими из этих свойств обладают инвариантные разностные схемы, построенные на основании методов группового анализа, и можно ли гарантировать эти «хорошие» свойства при выборе конкретного вида инвариантных разностных схем.
- 4) Остается неясным вопрос о применимости предлагаемого метода по отношению к карбонатным коллекторам, а тем более к сложнопостроенным, т.к. сравнительные эксперименты и апробация были проведены только на песчаниках.
- 5) На стр.12 отмечается, что уравнение (15) следует из уравнения (5) «при задании произвольных функций в виде» (13). Такой вид функций относительных фазовых проницаемостей и кривой капиллярного давления на практике не используется. В этой связи не понятно, имеют ли описанные в третьей главе результаты только научную значимость или могут быть применены для практических целей.
- 6) Необходимо пояснить, насколько применим разработанный метод размножения численных решений для трехмерных фильтрационных моделей с заданными неоднородными полями свойств (пористость, проницаемость и т.д.), которые более интересны с практической точки зрения.
- 7) Автором предложен стохастический метод моделирования пористых сред на микроуровне. Каким образом сравнивается соответствие модельного порового пространства и фактическая структура пор коллектора? Как оценивается точность построения?

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается близостью тематики исследования оппонентов и ведущей организации к теме диссертации Маркова П.В., а также тем, что результаты, полученные за последние годы оппонентами и в ведущей организации, публикуются в ведущих мировых журналах по тематике диссертационного исследования.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан метод размножения численных решений для систем уравнений дискретных моделей процессов фильтрации с использованием непрерывных групп симметрий, для которого расчетным путем **установлено**, что выигрыш во времени расчета по сравнению с существующими методами может достигать трех порядков;

получены новые классы дискретных моделей, для которых применим разработанный метод размножения численных решений: 4 класса дискретных динамических систем для двумерного случая и 23 класса для трехмерного случая, 4 класса для разностных схем параболического дифференциального уравнения с частными производными для моделирования фильтрации газа и 3 класса для уравнения двухфазной фильтрации Рапопорта — Лиса;

разработан новый метод построения моделей поровых сетей, позволяющий строить стохастические модели на основе независимой генерации параметров по их распределениям и с учетом их взаимосвязей; с помощью тестирования данного метода стохастической генерации **показано**, что, начиная с размеров $15 \times 15 \times 15$, разброс результатов нивелируется; с помощью сравнения данного метода с существующими аналогами **показана** его большая универсальность (более широкий класс генерируемых моделей).

разработан численный метод решения обратных задач соответствия заданным фильтрационным характеристикам для стохастических моделей поровых сетей, где для такого типа моделей применен оптимизационный метод «роя частиц»; на основе предложенного метода **решена** обратная задача адаптации стохастически сгенерированной модели к осредненным значениям капиллярного давления, абсолютной проницаемости и пористости для одного из выделенных регионов нефтегазоносного пласта;

разработан метод выделения регионов характерных моделей поровых сетей для дискретных моделей макромасштаба, с помощью которого **показано** использование результатов порометрии для образцов керна одного из нефтяных месторождений Западной Сибири для выделения двух регионов пласта с

различными фильтрационно-емкостными свойствами и характерными дискретными микромоделями;

разработан подход к ремасштабированию дискретных микромоделей на макромасштаб нефтегазоносных пластов; подход основан на разработанных методах, указанных выше, и реализован в виде единого программного комплекса.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

применительно к проблематике диссертации результативно (с получением обладающих новизной результатов) использованы методы математического моделирования процессов фильтрации в пористых средах, численные методы и эксперименты;

изучены существующие математические модели процессов фильтрации в геологических средах на различных масштабах и вычислительные схемы для их дискретизации, **обоснована** необходимость разработки усовершенствованных методов получения численных решений на основе метода размножения с помощью преобразований непрерывных групп симметрий и необходимость разработки методов, которые повышают обоснованность выбора фильтрационных параметров для макромоделей процессов фильтрации;

изучены различные виды дискретных моделей процессов фильтрации с помощью непрерывных групп симметрий: конечно-разностные схемы решения дифференциальных уравнений фильтрации в пористых средах (уравнение фильтрации газа, уравнения Баклея — Леверетта и Рапопорта — Лиса), дискретные динамические системы (фрактальная капиллярная сеть в виде треугольника Серпинского) и модели поровых сетей;

изучена проблема связи различных параметров микромасштаба пористой среды с фильтрационными параметрами макромасштаба.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработан и реализован в виде единого программного комплекса подход к ремасштабированию, состоящий из комбинации программных модулей, основанных на следующих методах: разработанный метод размножения численных решений, существующие методы моделирования одно- и двухфазного течения для моделей поровых сетей, разработанный метод стохастической

генерации моделей поровых сетей, разработанный метод решения обратных задач для моделей поровых сетей, разработанный метод выделения регионов характерных микромоделей на макромасштабе;

показано, что полученные с помощью разработанного программного комплекса результаты численного моделирования могут быть использованы для исследования процессов одно- и двухфазной фильтрации на микро- и макромасштабах пористых сред месторождений нефти и газа;

обоснована возможность применения разработанного комплекса программ для проведения исследований недр и природных ресурсов, в том числе в рамках использования в лабораториях по исследованию керна месторождений нефти и газа для обоснования фильтрационных характеристик.

Достоверность и обоснованность результатов исследования обеспечивается:

использованием известных групповых классификаций дифференциальных уравнений теории фильтрации и известного метода получения разностных схем с сохранением непрерывных групп симметрий;

сравнениями полученных численных решений с известными точными решениями соответствующих уравнений;

проведением тестовых сравнительных расчетов с использованием синтетических моделей и экспериментальных данных;

согласованностью отдельных выводов диссертации с результатами известных работ, опубликованных другими авторами.

Личный вклад соискателя состоит в формулировке задач, разработке и верификации всех указанных выше методов, реализации программного комплекса на языке программирования C# и на основе СКМ Matlab, планировании и проведении вычислительных экспериментов, анализе и интерпретации полученных результатов, представлении материала и подготовке публикаций по выполненной работе.

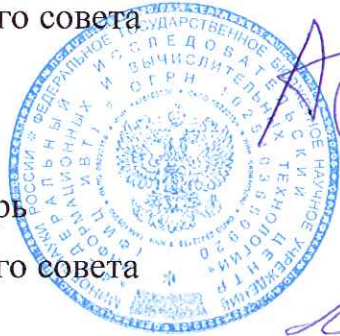
На заседании 2 июля 2021 г. диссертационный совет принял решение **присудить Маркову П.В. ученую степень кандидата физико-математических наук.**

При проведении открытого голосования диссертационный совет в количестве 17 человек (6 присутствовали очно, 11 — дистанционно), из них 7 докторов наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» (физико-математические науки), участвовавших в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 17, против – нет, воздержавшихся – нет.

Заместитель председателя

диссертационного совета

д.т.н.



Фионов Андрей Николаевич

Ученый секретарь

диссертационного совета

к.ф.-м.н.

Лебедев Александр Степанович

05 июля 2021 г.