

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 17.02.2022 № 3

О присуждении **Янбарисову Руслану Маратовичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Методы конечных объемов для гидродинамических задач в областях с не разрешаемыми сеткой границами», представленная на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.6 – «Вычислительная математика», принята к защите 16 декабря 2021 года (протокол заседания № 9/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 **Янбарисов Руслан Маратович** 1993 года рождения, в 2017 году окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» по специальности 03.04.01 – Прикладные математика и физика.

В 2020 году окончил очную аспирантуру Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт вычислительной математики им. Г. И. Марчука Российской академии наук» по направлению подготовки 02.06.01 – Компьютерные и информационные науки с присуждением квалификации «Исследователь. Преподаватель-исследователь». В настоящее время соискатель работает в должности младшего научного сотрудника в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Институт вычислительной математики им. Г. И. Марчука Российской академии наук».

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Институт вычислительной математики им. Г. И. Марчука Российской академии наук».

Научный руководитель – Никитин Кирилл Дмитриевич, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник ФГБУН ИВМ им. Г. И. Марчука 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)»;

Савенков Евгений Борисович, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник ФГУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша Российской академии наук»

дали **положительные** отзывы на диссертацию.

Ведущая организация ФГБУН «Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук», г. Новосибирск, в своем **положительном** отзыве, подписанном **Лаевским Юрием Мироновичем**, доктором физико-математических наук,

профессором, заведующим лабораторией математических задач химии ФГБУН ИВМиМГ СО РАН, и утвержденным **Марченко Михаилом Александровичем**, доктором физико-математических наук, профессором РАН, директором ФГБУН ИВМиМГ СО РАН, указала, что диссертационная работа является законченным научно-квалификационным исследованием, в котором предлагаются методы решения задач фильтрации и гидродинамики в областях с границами, не разрешаемыми расчетными сетками. В диссертации Янбарисова Руслана Маратовича содержатся новые результаты, имеющие научную и практическую значимость для решения широкого класса инженерных задач. Разработанные математические модели могут быть использованы в научной работе в ИВМ РАН, Сеченовском университете, ИБРАЭ РАН и других научных организациях, а также в практической работе специалистами в моделировании нефтедобычи, распространении радиоактивных отходов, регенеративной медицине. Диссертация 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, Янбарисов Руслан Маратович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.6 – «Вычислительная математика».

Соискатель имеет 8 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 7 работ, из них в журналах из списка ВАК по профилю специальности опубликовано 2 работы, в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в международных базах данных Scopus и/или Web of Science, опубликовано 7 работ.

Список публикаций по теме диссертационной работы:

1. Nikitin K. D., Yanbarisov R. M. Monotone embedded discrete fractures method for flows in porous media // Journal of Computational and Applied Mathematics. – 2020. – V.364. – P. 112353. (Q1)

2. Nikitin K. D., Yanbarisov R. M. Monotone Embedded Discrete Fracture Method for the Two-Phase Flow Model // International Conference on Finite Volumes for Complex Applications. – Springer. 2020. – P. 557-564.
3. Yanbarisov R. M., Nikitin K. D. Projection-based monotone embedded discrete fracture method for flow and transport in porous media // Journal of Computational and Applied Mathematics. – 2021. – V.392. – P. 113484 (Q1)
4. Yanbarisov R. M., Nikitin K. D., Vassilevski Y. V. An implicit scheme for simulation of free surface non-Newtonian fluid flows on dynamically adapted grids // Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling. – 2021. – V.36, №3. – P. 165-176. (Q2)
5. Янбарисов Р. М. Параллельный метод вложенных дискретных трещин для течений в трещиноватых пористых средах // Компьютерные исследования и моделирование. – 2021. – Т.13, №5. – С. 735-745.
6. R. Yanbarisov, Y. Efremov, N. Kosheleva, P. Timashev, Y. Vassilevski. Numerical Modelling of Multicellular Spheroid Compression: Viscoelastic Fluid vs. Viscoelastic Solid // Mathematics. – 2021. – V.9, № 18. – DOI: 10.3390/math9182333. (Q1)
7. I.Berre et al. Verification benchmarks for single-phase flows in three-dimensional fractured porous media // Advances in Water Resources. – 2021. – V.147. – P. 103759 (Q1)

В работах [1, 2, 3, 5] вклад автора заключался в доказательстве теорем для предложенных монотонных методов, разработке и внедрении методов во внутренний симулятор многофазной фильтрации, проведении численных экспериментов. В работе [7], представляющей собой результат большого сравнительного исследования численных методов решения задач однофазной фильтрации и переноса в трещиноватых средах, вклад автора заключался в верификации предложенных монотонных методов на серии тестовых задач. В работах [4, 6] вклад автора заключался в построении и исследовании новых численных моделей течения вязкопластичных и вязкоупругих жидкостей со

свободной поверхностью, их разработке и внедрении в программный пакет Floctree, верификации моделей на численных и экспериментальных данных из литературы.

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 3 отзыва на автореферат. В отзывах имеются замечания:

В отзыве ведущей организации ФГБУН ИВМиМГ СО РАН:

1. Использование полностью неявного метода решения уравнений Навье-Стокса является вычислительно трудоемкой задачей, и с точки зрения производительности существуют более экономичные подходы, например, методы расщепления. В тексте диссертации не приведены причины применения полностью неявных методов.

2. Несколько странно выглядит п. 1.8 с кратким описанием комплекса программ после п. 1.7, в котором этот комплекс фигурирует в выводах к первой главе. Собственно, в диссертациях по специальности 1.1.6 – «Вычислительная математика» не требуется упоминание о программном комплексе.

3. Непривычно оформлен список литературы – по порядку упоминания источника. Такое оформление свойственно скорее небольшим статьям, а в диссертационных работах затрудняет анализ списка литературных источников.

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

1. Как в рамках предлагаемого подхода учета трещин предлагается учитывать пересечения двух трещин, первая из которых более проницаема, а вторая менее проницаема, чем окружающая ее пористая среда? В численных экспериментах такой случай не рассматривался.

2. Было бы желательно графически проиллюстрировать определение контрольных объемов для конечно-объемной дискретизации инерционных и диффузионных слагаемых гидродинамических уравнений из второй главы.

3. В некоторых формулах присутствуют опечатки (например, в формуле (2.20) перед слагаемым с давлением должен стоять знак минус), иногда используется некорректная терминология (рост сфероида, обжатие вместо компрессии и др.).

В отзыве официального оппонента д.ф.-м.н. Савенкова Е. Б.:

1. В первой главе для предлагаемой методики выбрано неудачное название: из описания метода следует, что в оригинальном подходе с использованием стандартной линейной двухточечной схемы также сохраняется неотрицательность решения и выполняется дискретный принцип максимума. Мотивировка выбора названия главы ясна из ее содержания — но, возможно, более удачным было бы назвать подход модифицированным методом вложенных дискретных трещин.

2. По всей видимости, основным преимуществом предлагаемой методики совмещения подхода вложенных трещин с нелинейными схемами конечных объемов является возможность ее применения на неортогональных сетках. Для этого же случая выполнено большинство теоретических построений в работе. При этом в работе описывается только один расчет на сетке такого типа. Большое число подобных расчетов позволило бы более полно представить результаты работы.

3. В ряде случаев автор использует в тексте не вполне общепринятые, на взгляд оппонента, термины, например, «мобильность» вместо «подвижности», «коэффициент объема пласта» вместо «объемный коэффициент» или «объемный фактор», «эластичный» вместо «упругий» и ряд других.

В положительном отзыве на автореферат от д.ф.-м.н. Повещенко Александра Андреевича, профессора, ведущего научного сотрудника отдела № 11 ИПМ им. М.В. Келдыша РАН:

1. В качестве небольшого замечания можно отметить заметное количество опечаток. Например, несогласованность во фразах «поток между пересекающихся трещин» (стр. 9), «исследования по моделям», «задача однофазной фильтрацией» (стр. 12) и других.

В положительном отзыве на автореферат от к.т.н., Расторгуева Александра Владиминовича, старшего научного сотрудника лаборатории № 12 (Геомиграционного моделирования) ИБРАЭ РАН:

1. Отсутствует количественный анализ сопоставления результатов моделирования численного эксперимента методами EDFM+TPFA и EDFM+NTPFA с референтным решением для задачи двухфазной фильтрации с двумя трещинами.

2. Не приведено условие на свободной поверхности для модели течения вязкопластичного и вязкоупругого материала со свободной поверхностью.

3. О задаче прорыва дамбы сообщается только, что результаты, полученные с помощью численного эксперимента, находятся в хорошем соответствии с результатами физического эксперимента.

Положительный отзыв на автореферат от Касимова Аслан Рамазанович, PhD, доцента Сколковского института науки и технологий замечаний не содержит.

В отзывах отмечается, что 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. 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 функционирования различных систем, разработку и анализ новых вычислительных алгоритмов, 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:

предложены и обоснованы монотонные методы вложенных дискретных трещин для задач фильтрации, основанные на применении нелинейных конечно-объемных схем дискретизации потока внутри пористой среды;

доказано, что монотонные свойства нелинейных схем, используемых для дискретизации потоков внутри пористой среды (неотрицательность решения при использовании двухточечной схемы; наличие дискретного принципа максимума при использовании нелинейной многоточечной компактной схемы), выполняются для дискретного решения задачи диффузии в пористой среде и трещинах;

предложен и разработан полуневязный конечно-объемный метод расчета течений неньютоновских жидкостей (вязкопластичной жидкости Хершеля-Балкли и вязкоупругой жидкости Олдройда-Б) со свободной поверхностью в трехмерных областях с использованием сеток типа восьмеричное дерево;

предложена и разработана новая математическая модель вязкоупругого материала, основанная на совмещении моделей гиперупругого твердого тела нео-Гука и вязкоупругой жидкости Олдройда-Б;

численные реализации разработанных методов внедрены в программные пакеты: внутренний симулятор многофазных течений и программный пакет Floctree моделирования течений несжимаемых жидкостей со свободной

поверхностью на динамически перестраиваемых сетках типа восьмеричное дерево.

Теоретическая значимость исследования заключается в формулировке новых нелинейных конечно-объемных дискретизаций задач диффузии и двухфазной фильтрации в пористой среде с крупными трещинами, и доказательстве сохранения неотрицательности / выполнении дискретного принципа максимума для переменной давления в задаче диффузии; а также в формулировке новой математической модели течения вязкоупругого материала, основанной на совмещении моделей вязкоупругой жидкости Олдройда-Б и гиперупругого твердого тела нео-Гука.

Практическое значение результатов исследования подтверждается тем, что на основе предложенных соискателем математических моделей фильтрации и гидродинамики разработаны программные комплексы, реализующих предложенную методику. Предложенные численные методы решения задач диффузии и двухфазной фильтрации могут быть использованы для решения инженерных задач, связанных с моделированием нефтедобычи в трещиноватых пористых резервуарах. Разработанный полунявный метод расчета течений вязкопластичных и вязкоупругих жидкостей может быть использован в таких приложениях, как моделирование катастроф, задачи биопринтинга и другие.

Достоверность научных положений и практических результатов, полученных в диссертационных работе, подтверждена использованием строгих математических доказательств и рассуждений и апробированных в научной практике методов численного анализа.

Личный вклад соискателя состоит в получении всех основных результатов диссертации, а именно, разработке и исследовании новых монотонных методов вложенных дискретных трещин (включая построение строгих доказательств монотонных свойств) для задач многофазной фильтрации в трещиноватых резервуарах, построении новых численных моделей течения вязкопластичных и вязкоупругих жидкостей со свободной

