

ОТЗЫВ

официального оппонента д.ф.-м.н. Савенкова Евгения Борисовича
на диссертационную работу Янбарисова Руслана Маратовича
«Методы конечных объемов для гидродинамических задач в областях с не
разрешаемой сеткой границами»,
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности 1.1.6. – «Вычислительная математика»

Диссертационная работа Янбарисова Р. М. посвящена созданию численных моделей на основе метода конечных объемов для задач фильтрации и гидродинамики с учетом вложенных в расчетную область границ, не разрешаемых сеткой. Разработанные алгоритмы и комплексы программ ориентированы на современные высокопроизводительные вычислительные системы, и позволяют проводить масштабные расчеты за разумное время.

Актуальность темы диссертации обусловлена востребованностью новых методов решения инженерных исследовательских задач фильтрации и гидродинамики в среде при наличии крупномасштабных трещин методами математического моделирования и вычислительного эксперимента. Наличие крупных трещин может значительно влиять на величины фильтрационных потоков в пористых средах. Корректный учет этих эффектов требует применения специальных методов их учета. Один из способов решения этой задачи развивается в рассматриваемой работе. Не менее актуальным направлением является развитие численных моделей течения неньютоновских жидкостей, поскольку течения многих материалов в инженерных приложениях не могут быть адекватно описаны в рамках моделей ньютоновских жидкостей.

Общая характеристика работы. Диссертация состоит из введения, двух глав, заключения и списка литературы.

Введение содержит сведения о современном состоянии исследований в области конечно-объемных методов для рассматриваемого в диссертации класса

задач. Рассматриваются цели и задачи диссертационной работы, выносимые на защиту положения, практическая значимость результатов работы и так далее.

Первая глава посвящена предложенной автором методике совмещения известного подхода учета трещин для задач фильтрации, - метода вложенных дискретных трещин, - с нелинейными конечно-объемными схемами дискретизации потока внутри пористой среды. Последние обладают монотонными свойствами для задач диффузии и однофазной фильтрации: они обеспечивают неотрицательность дискретного решения и выполнение дискретного принципа максимума (в случае его наличия в непрерывной постановке задачи). Развитие нелинейных схем является современным направлением в области конечно-объемных методов. В рамках методики, называемой автором монотонным методом вложенных дискретных трещин, доказываются теоремы о монотонных свойствах дискретного решения, получаемого с ее помощью. Метод верифицирован на серии трехмерных тестовых задач. Большинство задач решалось на ортогональных регулярных сетках с полным анизотропным тензором проницаемости. Предложено обобщение метода на модель двухфазной фильтрации, проведен численный эксперимент, показывающий его преимущества по сравнению с оригинальным. Также приводятся результаты параллельных расчетов, которые демонстрируют возможность реализации предложенных методов при использовании распределенных моделей вычислений.

В приложении к первой главе приводится краткое описание разработанного автором комплекса программ моделирования для задач диффузии и двухфазной фильтрации. Комплекс программ реализован с использованием открытого программного обеспечения, платформы INMOST, включающей в себя развитые инструменты для параллельного моделирования на неструктурированных сетках.

Во *второй главе* рассматривается численная модель течения неньютоновских несжимаемых жидкостей. Предлагается подход, основанный на полунявном методе решения гидродинамических уравнений и уравнений

переноса жидкости. Рассматриваются три типа моделей: вязкопластичные жидкости типа Хершеля-Балкли, вязкоупругие жидкости типа Олдройда-Б и вязкоупругий материал Олдройда-нео-Гука. Приводится детальное описание дискретизации пространственных операторов задачи. Верификация предложенного подхода была проведена на серии задач, содержащих как численные, так и эмпирические результаты, представленные в литературе.

В заключении резюмируются главные результаты диссертационной работы.

К достоинствам диссертационной работы относится разработка верифицированных численных моделей, с помощью которых получены результаты на реальных задачах, таких, как компрессия многоклеточных сфероидов, прорыв дамбы, фильтрации в трещиноватых средах. Автор умело совмещает известные подходы для получения новых перспективных методов и моделей.

Обоснованность научных положений и выводов диссертации подтверждается использованием обоснованного математического аппарата, наличием строго доказанных утверждений (теорем) и подкрепляется приведенными верифицированными расчетами.

Новизна диссертационной работы заключается в предложенных автором численных моделях фильтрации и гидродинамики, учитывающих особенности рассматриваемых задач – наличие вложенных в трехмерные расчетные сетки поверхностей, - трещины и свободных поверхности жидкости. предложенные методы основаны на современных достижениях и подходов в области конечно-объемных методов и расширяют их на новые классы задач.

Достоверность результатов работы подтверждается апробацией на международных и всероссийских конференциях, публикациями, индексируемыми в системах цитирования Scopus и Web of Science, а также верификацией расчетов на известных из литературы данным.

В ходе ознакомления с текстом диссертации возникли следующие **вопросы и замечания**.

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. Большее 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.

Указанные недостатки не снижают общей положительной оценки работы.

Заключение. Диссертационная работа Янбарисова Руслана Маратовича является законченной научно-квалификационной работой, вносящей весомый вклад в разработку новых конечно-объемных методов численного моделирования в задачах фильтрации и гидродинамики. Автореферат соответствует содержанию диссертации. Диссертация является законченным научным исследованием, содержание и результаты работы соответствуют паспорту научной специальности 1.1.6. – «Вычислительная математика» и требованиям п. 9 Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (ред. от 11.09.2021) «О порядке присуждения ученых степеней», а ее автор,

Янбарисов Руслан Маратович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.6. – «Вычислительная математика».

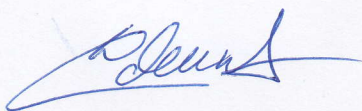
Официальный оппонент,

доктор физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник отдела № 11

ИПМ им. М.В.Келдыша РАН

Савенков Евгений Борисович

20.12.2021



Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук»

Адрес: 125047, Москва, Миусская пл., д.4, ИПМ им. М.В. Келдыша РАН

Официальный сайт организации: <https://www.keldysh.ru>

Телефон: +7 499 978-13-14

E-mail: e.savenkov@gmail.com

Подпись Савенкова Евгения Борисовича удостоверяю:

Ученый секретарь ИПМ им. М.В. Келдыша РАН

к.ф.-м.н.



А.А. Давыдов

