

ОТЗЫВ

официального оппонента
Колдобы Александра Васильевича
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»

Актуальность темы диссертации обосновывается существенным влиянием вложенных в расчетную область поверхностей на поведение численных решений задач фильтрации и гидродинамики. Корректный учет не разрешенных расчетными сетками крупных трещин в пористых средах и свободной поверхности не-newтоновских жидкостей требует развития специальных методов, рассматриваемых в данной работе.

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

Во введении к диссертации поставлены цели и задачи проведенного исследования, обозначена актуальность, его значимость и новизна. Введение включает в себя сведения о современном состоянии исследований в рассматриваемой в работе тематике, личный вклад автора, выносимые на защиту положения, список публикаций автора и его выступлений на всероссийских и международных конференциях.

В первой главе автор развивает известный подход учета крупных трещин в задачах фильтрации в пористых средах (метод вложенных дискретных трещин), с помощью использования нелинейных конечно-объемных схем дискретизации потоков внутри пористой среды. Численная модель относится к моделям двойной пористости-проницаемости с дискретизацией трещины посредством введения дополнительных степеней свободы в трехмерные ячейки пористой среды, пересеченные трещиной. Ранее в литературе было показано, что используемые в работе нелинейные схемы дискретизации обладают монотонными свойствами для численного решения задач диффузии в пористых средах без трещин. В этой работе доказано, что предлагаемый автором подход также сохраняет монотонные свойства численного решения во всей его области определения, включая и трещины – неотрицательность решения при использовании нелинейной двухточечной схемы и наличие дискретного принципа максимума при использовании нелинейной многоточечной схемы. Доказанные монотонные свойства подтверждены тестовыми расчетами, показана сходимость метода при измельчении сетки и его масштабируемость при увеличении числа процессов.

Метод верифицирован на серии двумерных и трехмерных тестовых задач, приводится сравнение полученных результатов с другими современными

подходами, реализованными в зарубежных научных группах. Также автором производится расширение предложенного подхода на численную модель двухфазной фильтрации.

В конце первой главы приводится краткое описание разработанного комплекса программ моделирования для задач диффузии и двухфазной фильтрации. Комплекс программ реализован с использованием открытого программного обеспечения, платформы INMOST, включающей в себя продвинутые инструменты для параллельного моделирования на неструктурированных расчетных сетках.

Во второй главе рассматривается численная модель течения неьютоновских несжимаемых жидкостей со свободной поверхностью и предлагается подход, основанный на полунеявном методе решения гидродинамических уравнений и уравнений переноса жидкости. Рассматриваются вязкопластичные жидкости Хершеля-Балкли и вязкоэластичные жидкости Олдройда-Б. Также автором предложена новая модель вязкоэластичного материала Олдройда-нео-Гука, основанная на совмещении жидкости Олдройда-Б с гиперупругим телом нео-Гука. Для дискретного представления свободной поверхности, не разрешаемой расчетной сеткой, используется функция уровня, заданная во всех узлах сетки. В рамках предложенного подхода на первом этапе обновляется положение жидкой области, на втором этапе после решения полностью неявным методом находятся гидродинамические неизвестные. Описанная во главе методология была внедрена автором в существующий программный комплекс моделирования Floctree. Верификация рассматриваемого подхода была проведена на серии задач, содержащих как численные, так и эмпирические результаты из литературы.

В заключении резюмируются главные результаты диссертационной работы.

К достоинствам 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 доказанными теоремами и подкрепляется приведенными верифицированными расчетами.

Научная новизна и достоверность результатов. Результаты, полученные диссертантом в ходе выполнения работ, являются новыми. Автором предложены удовлетворяющие современным требованиям численные модели фильтрации и гидродинамики, учитывающих особенности рассматриваемых задач – наличие вложенных в расчетные сетки поверхностей, трещин и свободной поверхности. Для этой цели используются современные достижения и подходы в области конечно-объемных методов. Достоверность работы подтверждается верификацией расчетов на известных из литературы численных и эмпирических данных, апробацией на международных и всероссийских

конференциях. Результаты диссертации были опубликованы в журналах, индексируемых в системах цитирования Scopus и Web of Science.

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

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.)

Заключение. Диссертация Янбарисова Руслана Маратовича является научно-квалификационной работой, вносящей весомый вклад в разработку новых конечно-объемных методов численного моделирования в задачах фильтрации и гидродинамики. Исследования, проведенные диссертантом, соответствуют высокому научному уровню, результаты представляют интерес для научного сообщества и в полной мере представлены в публикациях. 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».

Отзыв составил официальный оппонент

Колдоба Александр Васильевич

доктор физико-математических наук,

заведующий кафедрой моделирования и технологий разработки нефтяных месторождений МФТИ (НИУ)

141701, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский пер., 9

E-mail: koldoba@rambler.ru

17.01.2022 г.

А. В. Колдоба

Подпись Колдобы Александра Васильевича удостоверяю

Ученый секретарь Ученого совета МФТИ (НИУ)

Е. Г. Евсеев

