

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу

Алексеева Валентина Николаевича

«Многомасштабные методы для задач течения и переноса в неоднородных средах»

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

В диссертационной работе Алексеева В. Н. разрабатываются и численно исследуются многомасштабные методы для решения задач течения и переноса в неоднородных средах.

Многие процессы в реальных приложениях (например, течение жидкости в пористой среде при моделировании коллектора) имеют неоднородные свойства, более того - параметры неоднородности могут рассматриваться и варьироваться в различных масштабах. Методы прямого решения данных задач требуют построения численных методов с сеточным разрешением неоднородностей на уровне сетки и приводят к большим дискретным системам, которые требуют огромных вычислительных ресурсов и временных затрат. Следовательно, для понижения размерности системы и реализации точных и эффективных вычислений требуется разработать многомасштабные методы. Это демонстрирует актуальность диссертационной работы Алексеева В. Н., которая посвящена разработке многомасштабных методов для решения задач течения и переноса в неоднородных средах.

Диссертация объемом 164 страницы состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и двух приложений. Список литературы включает 116 наименований, среди которых 16 работ – работы автора по теме диссертации.

Во **введении** дана краткая характеристика процессов переноса, обоснована актуальность разрабатываемых вычислительных алгоритмов для данных задач, сформулированы цели и задачи исследования, выделена новизна и практическая значимость, кратко излагается содержание диссертации по главам и дана характеристика основных результатов работы.

В **первой** главе подробно описаны алгоритмы двух многомасштабных методов: смешанный обобщенный многомасштабный

метод конечных элементов (*раздел 1*) и обобщенный многомасштабный метод конечных элементов разрывного Галеркина (*раздел 2*). В данных физических процессах перенос материала описывается уравнением конвекции-диффузии. В *разделе 1* течение описывается в приближении Дарси, а в *разделе 2* - задачей Стокса. Представлены численные эксперименты, показывающие, что предложенные методы могут дать хорошие результаты при существенном уменьшении размера системы.

Во **второй главе** представлен многомасштабный метод разрывного Галеркина для задач в перфорированных областях с применением неоднородных граничных условий для перфораций. Предложены два типа построения многомасштабных базисных функций для применения подходящих граничных условий, соответствующих внешней границе и границе перфорации. Рассмотрены различные концепции построения грубой сетки для пяти модельных задач с однородными и неоднородными граничными условиями.

Третья глава посвящена разработке и численной реализации обобщенного многомасштабного метода разрывного Галеркина для задачи течения и переноса в тонких областях. Для описания течений в тонкой области используются уравнения Стокса, задач переноса описывается уравнением конвекции-диффузии. Исследованы два типа локальных многомасштабных базисных функций для скорости и концентрации. Представлены результаты для двумерных и трехмерного случаев для разной геометрии расчетной области, различных граничных условий и коэффициентов диффузии.

В **четвертой главе** рассматривается связанная система уравнений, описывающих упрощенную задачу магнитной гидродинамики в перфорированных областях. Для линеаризации используются итерации Пикара. Для аппроксимации задачи магнитного поля используется смешанный многомасштабный метод, а для задачи течения DG-GMsFEM. Представлены численные результаты для двумерной модельной задачи.

В **пятой главе** представлено решение задач тепломассопереноса в неоднородных средах. Задача описывается системой уравнений для температуры, давления и скорости. Для моделирования течения в области со слабопроницаемыми препятствиями используется модель Бринкмана. Построена аппроксимация для грубой сетки с использованием DG-GMsFEM.

В **заключении** представлены основные результаты работы.

Среди замечаний к работе стоит отметить следующие:

1. Некоторые методы и факты в работе приводятся без ссылок на работы, где они были предложены, например:
 - с. 21: элементы Равьяра-Тома,
 - с. 22: SUPG,
 - с.23: смешанный обобщенный многомасштабный метод - из текста неясно, предложен ли он автором данной работы. Если нет, то хорошо было бы иметь соответствующую ссылку.
2. Для некоторых частей текста характерен “прямой” перевод с английского, например:
 - с. 23 “Функции, которые поддерживаются...” (при этом подразумевается носитель функции),
 - с. 23 “построение пространства снэпшот”,
 - с. 24 “грубое ребро”.
3. Нет единообразия в введении обозначений: где-то используется grad и div , где-то - “набла” для обозначения одного и того же оператора. Для системности изложения было бы хорошо иметь одинаковые обозначения. Также странное обозначение используется для транспонирования вектора: как правило, Tr обозначает след матрицы (с. 40). В упомянутой формуле (с транспонированием) градиент u - это матрица, и транспонируется не вектор, а матрица (якобиан).
4. Примеры, рассмотренные в главах, носят модельный характер. Уравнение Дарси-Стокса-Бринкмана играет важную роль в исследовании емкостных свойств керна, при этом геометрия реальных пород носит существенно сложнее. В частности, можно рассмотреть примеры геометрии керна из коллекции Imperial College и провести сравнение.
5. Список литературы оформлен не очень аккуратно, что затрудняет обращение к ссылкам и создает впечатление небрежности.

Вышеуказанные замечания не снижают высокую оценку работы.


Представленная диссертационная работа соответствует основным требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Алексеев Валентин Николаевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент,
кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник АНОО ВО
«Сколковский институт науки
и технологий»

 / Муравлева Е.А.

“1” декабря 2021 г.




Руководитель отдела
кадрового администрирования