

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу  
Калачиковой Уйгулааны Семеновны

### «Многомасштабные вычислительные технологии для моделирования волновых процессов 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 Калачиковой Уйгулааны Семеновны разрабатываются и численно исследуются многомасштабные методы для решения волновых задач в неоднородных средах.

Численное моделирование волновых задач в неоднородных средах со сложными структурами является одной из наиболее востребованных и актуальных задач математического и численного моделирования. Методы прямого решения данных задач требуют построения численных методов с сеточным разрешением неоднородностей на уровне сетки и приводят к большим дискретным системам, которые трудно поддаются вычислению. Следовательно, для понижения размерности системы для точных и эффективных вычислений нужно разработать многомасштабные методы. Поэтому диссертационная работа Калачиковой Уйгулааны Семеновны, посвященная разработке многомасштабных методов для решения волновых задач в неоднородных средах, является актуальной.

Диссертация объемом 166 страниц состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и двух приложений. Список литературы включает 121 наименование, среди которых 11 работ – работы автора по теме диссертации.

Во **введении** обосновываются цели и задачи работы, дается краткая характеристика волновых процессов, мотивируется актуальность задачи, кратко излагается содержание диссертации по главам. Формулируются основные научные результаты и положения, выносимые на защиту.

**Первая глава** состоит из пяти разделов и посвящена исследованию многомасштабных методов для задач Гельмгольца в неоднородных средах. Предложен алгоритм решения задачи Гельмгольца, описывающий распространение волн в неоднородных средах с использованием метода численного усреднения. Эффективные коэффициенты тензора упругости вычисляются с помощью локальных решений на грубой сетке. Результаты показывают, что предлагаемый метод на грубой сетке может обеспечить точные приближения решений на мелкой сетке. Исследован многомасштабный метод и обобщенный многомасштабный метод конечных элементов решения задачи рассеяния волн в неоднородной области. Представлены два подхода построения локальных базисных функций на основе локальных задач с использованием оператора эллиптической части и оператора Гельмгольца. Выполнены исследования по построению и сравнению двух многомасштабных методов: непрерывный обобщенный

многомасштабный метод Галеркина и разрывный обобщенный многомасштабный метод Галеркина для распространения упругих волн. Представлены результаты численного решения уравнения Гельмгольца предложенными методами для различного числа базисных функций.

**Вторая глава** диссертации посвящена разработке и численной реализации алгоритмов обобщенного граничного многомасштабного метода конечных элементов для задачи рассеяния и задачи конвекции-диффузии в перфорированных средах. Построены и исследованы разные типы базисных функций для учета неоднородных граничных условий на границах перфорации. Представленные численные результаты показали эффективность данного метода.

**В третьей главе** представлен комплекс программ для создания многомасштабных пространств применительно к задачам распространения волн в неоднородных средах. Программы состоят из вычислительных библиотек на языках программирования С и С++. Вычислительная библиотека посвящена применению обобщенного многомасштабного разрывного метода Галеркина для моделирования волновой динамики и обобщенного многомасштабного метода для моделирования уравнения Гельмгольца в средах с неоднородными включениями.

**В заключении** даются основные результаты работы. **В приложении** представлены два свидетельства о государственной регистрации.

**Научная новизна полученных результатов.** Автором диссертационной работы получены следующие новые результаты:

- С помощью численного метода усреднения получено решение задачи Гельмгольца в неоднородной области;
- Проведено моделирование задачи Гельмгольца в неоднородной области многомасштабным методом конечных элементов;
- Реализован алгоритм обобщенного многомасштабного метода конечных элементов разрывного метода Галеркина и непрерывного метода Галеркина для решения задачи распространения упругих волн в трещиноватых средах;
- Разработан обобщенный граничный многомасштабный метод конечных элементов для задачи рассеяния в перфорированной области;
- Представлен обобщенный многомасштабный разрывный метод Галеркина с разными типами построения базисных функций для уравнения конвекции-диффузии в перфорированной области.

**Достоверность и степень обоснованности.** Все указанные результаты были доложены на международных и всероссийских конференциях, опубликованы в иностранных и российских рецензируемых научных журналах из списка ВАК, Web of Science, Scopus, а также свидетельствами о регистрации ПО.

Представленная диссертационная работа соответствует основным требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Калачикова Уйгулаана Семеновна, заслуживает присуждения ученой степени

кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2.  
Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент,  
профессор кафедры вычислительной физики МФТИ,  
член-корреспондент РАН,

докт \_\_\_\_\_ ических наук,  
\_\_\_\_\_ / Петров И.Б./

“ 18 ” июля \_\_\_\_\_ 2022 г.

Подпись РУКИ *Петрова И.Б.*  
ЗАВЕРЯЮ:  
Администратор канцелярии  
Административного отдела  
МФТИ

