

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

комиссии диссертационного совета 24.1.087.02

для принятия к защите диссертации Вишневого Дмитрия Михайловича «Конечно-разностный алгоритм моделирования сейсмических волновых полей в анизотропных упругих средах» по специальности 1.6.9 – «геофизика» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

Комиссия в составе членов диссертационного совета **24.1.087.02** на базе ИНГГ СО РАН доктора геолого-минералогических наук Суворова В.Д. (председатель), доктора физико-математических наук Чеверды В.А. и доктора физико-математических наук Роменского Е.И., ознакомившись с текстом диссертационной работы Вишневого Дмитрия Михайловича, пришла к следующему выводу:

Объектом исследования в диссертации является конечно-разностный метод решения прямой задачи сейсмологии на предмет развития его теоретической и алгоритмической составляющих для увеличения вычислительной эффективности алгоритмов расчета сейсмических волновых полей в трехмерных анизотропных средах на вычислительных системах с параллельной архитектурой.

Актуальность исследования.

Численное моделирование сейсмических волновых полей – важный исследовательский инструмент современной геофизики. Оно предшествует полевым физическим экспериментам, дополняет их и частично заменяет, когда выполнение полевых экспериментов затруднено или невозможно.

С появлением вычислительных систем с параллельной архитектурой открылась принципиальная возможность перейти от двумерных к более реалистичным **трехмерным** сейсмогеологическим средам при расчетах сейсмических волновых полей. В связи с этим приобретают актуальность развитие численных методов решения таких задач и разработка на их основе **алгоритмов, ориентированных на параллельные вычисления.**

Одновременно с этим углубляется понимание физики распространения сейсмических волн в реальных горных породах, и требуется адаптация соответствующих численных методов, в частности, учитывающих **анизотропию** скоростей распространения волн. Например, учет анизотропии важен при моделировании трещиноватых резервуаров. Ориентированная трещиноватость горной породы приводит и к её сейсмической анизотропии, и к изменению флюидопроницаемости в разных направлениях, которые в результате связаны между собой. Следовательно, знание параметров анизотропии необходимо для определения флюидопроницаемости при проектировании добывающих скважин большей эффективности.

Тогда при программной реализации численных методов моделирования сейсмических волновых полей и практических расчетах время вычислений и объем вычислительных ресурсов существенно увеличиваются следующими

факторами: трехмерностью среды, анизотропией среды и необходимостью полномасштабных численных экспериментов. Поэтому особую актуальность приобретают увеличение **вычислительной эффективности** используемых численных методов и алгоритмов на их основе.

Цель работы – развитие конечно-разностных алгоритмов решения прямой задачи сейсмологии, повышение вычислительной эффективности ее решения для трехмерной анизотропной упругой среды за счет использования схемы на основе сетки Лебедева, соответствующего алгоритма и его программной реализации для вычислительных систем с распределенной памятью.

Новые научные результаты, полученные лично соискателем:

1. Разработанная, теоретически и численно исследованная конечно-разностная схема на основе сетки Лебедева для решения прямой задачи сейсмологии в трехмерной анизотропной среде.

2. Разработанный по схеме и реализованный в виде научно-исследовательской версии программного обеспечения алгоритм для расчета волновых полей в прикладных задачах сейсмологии.

Высокая степень **достоверности** полученных научных результатов определяется использованием следующих математических теорий и методов:

- теория упругости, а именно динамическая линейная система уравнений в анизотропной постановке в качестве математической модели распространения упругих сейсмических волн;
- метод конечных разностей для численного решения начально-краевой задачи для системы уравнений упругости;
- теория уравнений в частных производных и теория конечно-разностных уравнений для сравнительного анализа численной дисперсии конечно-разностных схем и определения их относительной вычислительной эффективности;
- метод дифференциального приближения конечно-разностного уравнения для устранения нефизичных решений, допускаемых конечно-разностными схемами;
- прием PML (Perfectly Matched Layer – абсолютно согласованный слой) к построению слабоотражающих слоев для гиперболической системы дифференциальных уравнений;
- теория распространения волн в упругих анизотропных средах при верификации полученных численных решений.

Верификация разработанных алгоритмов выполнялась сериями численных экспериментов, сопоставлением результатов с полученными теоретически.

Для создания научно-исследовательской версии программной реализации алгоритма для параллельных вычислительных систем используются:

- язык программирования C/C++;
- метод пространственной декомпозиции расчетной области;
- интерфейс передачи сообщений MPI (англ. «Message Passing Interface») для организации передачи информации между параллельными вычислительными потоками.

Все вышесказанное позволяет утверждать, что **работа соответствует паспорту специальности 1.6.9 - «геофизика»**, п. 10 (Математические и численные исследования в теории прямых и обратных задач сейсмологии, геоэлектрики, гравиметрии, магнитометрии, геотермики, ядерной геофизики, включая геофизические методы разведки, скважинную и инженерную геофизику) **по физико-математическим наукам**.

Полученные научные результаты в полном объеме изложены в 29 научных публикациях, в том числе в 6 статьях — в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (Перечень ВАК), 21 материалах конференций. Получены 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

При экспертизе текста диссертации, автореферата, публикаций, а также результатов проверки текста системой «Антиплагиат» **комиссией установлено, что**

- оригинальных блоков в диссертации 99.21%, заимствованных источников в диссертации – 0.79%;
- соискателем сделаны ссылки на все источники заимствования материалов, **фактов некорректного цитирования или заимствования без ссылки на соавторов в тексте диссертации и автореферате не обнаружено;**
- **сведения, представленные соискателем, об опубликованных им работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации, достоверны;**
- **несоответствий** текста диссертации, представленного соискателем в диссертационный совет, тексту диссертации, размещенному на сайте, **не выявлено;**
- **недостоверных сведений в документах, представленных соискателем в диссертационный совет, не выявлено.**

Комиссия рекомендует:

1. Принять к защите диссертацию Вишневого Д.М. «Конечно-разностный алгоритм моделирования сейсмических волновых полей в анизотропных упругих средах» по специальности 1.6.9 – «геофизика» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

2. Ведущей организацией назначить ФГБУН Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН (ИВМиМГ СО РАН, 630090, г. Новосибирск, просп. Академика Лаврентьева, 6, тел. +7(383)330-83-53, contacts@sscc.ru, оф. сайт: <http://icmmg.nsc.ru>).

3. В качестве официальных оппонентов рекомендуются:

Садовский Владимир Михайлович, доктор физико-математических наук, специальность – «механика деформируемого твердого тела», чл.-кор. РАН, профессор, главный научный сотрудник, заведующий отделом вычислительной механики деформируемых сред Института вычислительного моделирования СО РАН – обособленного подразделения ФГБНУ "ФИЦ "Красноярский научный центр СО РАН" (ФИЦ КНЦ СО РАН) – 660036, Красноярск, Академгородок, д. 50, стр. 44, +7-391-290-74-65, sadov@icm.krasn.ru. В.М. Садовский имеет публикации по тематике диссертации Д.М. Вишневого, дал официальное согласие на оппонирование представленной диссертации.

Вершинин Анатолий Викторович, доктор физико-математических наук, специальность – «математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», доцент, профессор кафедры вычислительной механики Отделения механики Механико-математического факультета ФГБОУ ВО Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, механико-математический факультет, +7 (916) 184-49-28, versh1984@mail.ru. А.В. Вершинин имеет публикации по тематике диссертации Д.М. Вишневого, дал официальное согласие на оппонирование представленной диссертации.

Комиссия диссертационного совета:

Председатель комиссии,
д.г.-м.н.

д.ф.-м.н., профессор

д.ф.-м.н.



В.Д. Суворов

В.А. Чеверда

Е..В. Роменский