

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.087.02 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
НАУКИ ИНСТИТУТА НЕФТЕГАЗОВОЙ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ ИМ.
А.А. ТРОФИМУКА СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 22 марта 2023 г. № 03/3

О присуждении Вишневскому Дмитрию Михайловичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук. Диссертация «Конечно-разностный алгоритм моделирования сейсмических волновых полей в анизотропных упругих средах» по специальности 1.6.9, «геофизика», принята к защите 10 января 2023 г. (протокол № 03/1), диссертационным советом 24.1.87.02, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации (630090, г. Новосибирск, просп. Ак. Коптюга, 3), утвержденным приказом Минобрнауки Российской Федерации № 105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель Вишневский Дмитрий Михайлович, 1975 года рождения, в 1997 г. окончил механико-математический факультет Новосибирского государственного университета с дипломом бакалавра по направлению «Математика». В 2017 г. получил диплом магистра по специальности «Геология» по окончании геолого-геофизического факультета того же вуза. Кандидатские экзамены сданы в 2018 г. через оформление соискательства в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук. Работает в должности научного сотрудника в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука в лаборатории вычислительной физики горных пород.

Диссертация выполнена в лаборатории вычислительной физики горных пород Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения

Российской академии наук.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук Лисица Вадим Викторович, заведующий лабораторией вычислительной физики горных пород Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук.

Официальные оппоненты – Садовский Владимир Михайлович, доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН, профессор, главный научный сотрудник, заведующий отделом вычислительной механики деформируемых сред Института вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»; Вершинин Анатолий Викторович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры вычислительной механики отделения механики механико-математического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова – **дали положительные отзывы** на диссертацию.

Ведущая организация, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск, в своем **положительном заключении**, подписанном Имомназаровым Холматжоном Худайназаровичем, доктором физико-математических наук, заведующим лабораторией вычислительных задач геофизики, указала, что диссертация Д.М. Вишневого соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней. Это научно-квалификационная работа, направленная на развитие конечно-разностного метода в моделировании сейсмических волновых полей в трехмерных анизотропных упругих средах и создание на его основе алгоритма и программного обеспечения.

Соискатель имеет 87 опубликованных работ, в том числе **28 по теме диссертации**, из которых **6 статей** в рецензируемых научных журналах, **2 зарегистрированные программы**. При подготовке публикаций соискателем разработана и исследована конечно-разностная схема на основе сетки Лебедева для системы уравнений упругости в анизотропной среде; разработан, программно

реализован и верифицирован алгоритм на основе схемы; выполнено численное моделирование; соискатель участвовал в подготовке текста статей. Общий объём публикаций – 146 с., авторский вклад – около 85 с. Сведения, предоставленные соискателем об опубликованных им работах, в которых изложены основные результаты диссертации, достоверны. Наиболее значимые публикации: 1. Lisitsa V. Lebedev scheme for the numerical simulation of wave propagation in 3D anisotropic elasticity / V. Lisitsa, D. Vishnevskiy // *Geophysical Prospecting*. – 2010. – V. 58. – № 4. – P. 619-635.; 2. Numerical study of the interface errors of finite-difference simulations of seismic waves / D. Vishnevsky [et al.] // *Geophysics*. – 2014. – V. 79. – № 4. – P. T219-T232.; 3. Численное исследование возможностей построения изображений доюрского комплекса Томской и Новосибирской областей / М.И. Протасов, ... Д.М. Вишневский [и др.] // *ПРОнефть. Профессионально о нефти* – 2021. – Т. 6. – № 4. – С. 71-80.

Помимо отзывов официальных оппонентов, **на автореферат поступило 8 отзывов**, все положительные. В 6 из них содержатся замечания: формула для максимальной относительной ошибки схемы на повернутых сетках ошибочно заменена на другую (д.ф.-м.н. А.Л. Плешкевич, профессор Я. Эфендиев, Д.А. Литвиченко); отсутствуют примеры рассчитанных волновых полей для сложно-построенных геологических сред (д.ф.-м.н. А.Л. Плешкевич); на Рисунке 1 отсутствует элементарная ячейка схемы на сдвинутых сетках (д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН С.И. Кабанихин); формулы условия устойчивости приведены без разъяснения обозначений (чл.-корр. РАН С.И. Кабанихин); не хватает численного исследования порядка сходимости схемы на границе раздела упругой и акустической сред (д.ф.-м.н. Ю.М. Лаевский); вопрос о использовании при моделировании многоядерной архитектуры процессоров, технологии распараллеливания вычислений OpenMP и графических сопроцессоров (к.ф.-м.н. И.Г. Черных); недостаточность описания геолого-геофизических моделей сред, приведенных в автореферате, в частности для Доюрского комплекса приводятся только иллюстрации, без указания какой параметр приведен, без цветовой шкалы, не читаемые подписи к осям (Д.А. Литвиченко).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается следующим: **Садовский В.М.**, д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН, профессор – высококвалифицированный специалист в области математического моделирования, численных методов решения задач механики деформируемых

сред, а также в области параллельных вычислений, имеет публикации, связанные с темой представленной к защите диссертации; **Вершинин А.В.**, д.ф.-м.н., профессор – высококвалифицированный специалист в области вычислительной математики, решения прикладных задач геомеханического моделирования, а также в области высокопроизводительных вычислений, имеет публикации, связанные с темой представленной к защите диссертации; в состав ведущей организации ФГБУН ИВМиМГ СО РАН входят лаборатории вычислительных задач геофизики, обратных задач естествознания и суперкомпьютерного моделирования, специалисты которых имеют публикации в этой области научных исследований и способны оценить научную и практическую значимость результатов диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований с использованием конечно-разностной сетки Лебедева **разработана** и теоретически **обоснована** конечно-разностная схема для динамической системы уравнений теории упругости в трехмерной анизотропной среде; с использованием слабоотражающих слоев и декомпозиции вычислительной области на основе схемы **разработан** алгоритм, ориентированный на параллельные вычислительные системы, который выгодно отличается от известных объемом оперативной памяти, необходимой для численного моделирования. Предложенный и реализованный в алгоритме подход позволяет строить искусственные границы с чрезвычайно низким уровнем артефактов.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что: интегрально-интерполяционным методом (методом баланса) и методом осреднения тонкослоистой среды построены коэффициенты разработанной конечно-разностной схемы, выведено условие её устойчивости; путем анализа численной дисперсии для разработанной конечно-разностной схемы показана лучшая вычислительная эффективность, чем у известных аналогов; методом дифференциального приближения показано существование у разработанной схемы более широкого набора независимых решений, часть из которых являются нефизичными; разработан способ подавления нефизичных решений путем аппроксимации начальных условий; с помощью численных экспериментов на сетках с уменьшающимися шагами подтвержден первый

порядок сходимости схемы на репрезентативном наборе моделей.

Значение полученных соискателем результатов исследования для **практики** заключается в том, что разработанный алгоритм с высокой вычислительной эффективностью позволяет изучать проявление анизотропии среды в сейсмоакустических полях, которое может быть связано, например, с сонаправленной трещиноватостью некоторых пластов геологических пород. Это делает возможным появление новых подходов к определению свойств среды сейсмическими методами. Выполнено полномасштабное трехмерное численное моделирование для изотропной модели доюрского комплекса Томской области.

Высокая степень **достоверности** полученных результатов определяется тем, что в своем исследовании соискатель опирается на неоднократно проверенные положения теории распространения волн, теорию конечно-разностных схем, последние достижения методов теории аппроксимации, метод дифференциального приближения и другие. Верификация разработанного алгоритма выполнялась сопоставлением результатов расчетов серии численных экспериментов с теоретически известными результатами. Проверка диссертации системой «Антиплагиат» показала оригинальность текста 99.2%.

Личный вклад соискателя: разработка конечно-разностной схемы для расчета сейсмических волновых полей в трехмерной анизотропной среде, построение формул для коэффициентов схемы, вывод условия устойчивости, исследование численной дисперсии, построение первого дифференциального приближения схемы; разработка по схеме алгоритма и его программной реализации; численные эксперименты для изучения сходимости разработанной схемы и ее аналогов; расчеты волновых полей для трехмерных моделей изотропных и анизотропных упругих сред.

Диссертация Вишневого Д.М. «Конечно-разностный алгоритм моделирования сейсмических волновых полей в анизотропных упругих средах» соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней: это научно-квалификационная работа, в которой с использованием сетки Лебедева выведена новая конечно-разностная схема для анизотропной упругой среды и на ее основе разработан алгоритм расчета сейсмических волновых полей, который

позволяет повысить вычислительную эффективность расчетов в сравнении с известным алгоритмом на основе конечно-разностной схемы на повернутых сетках. С помощью программно реализованного алгоритма, использующего декомпозицию области для распараллеливания программы и прием построения слабоотражающих слоев M-PML для ограничения расчетной области, выполнено моделирование волновых полей, используемых соавторами соискателя: при изучении амплитуд отражения для анизотропных сред с различными типами симметрии; при определении параметров анизотропии в верхнем анизотропном слое слоистой модели Юрубчено-Тахомской зоны и компенсации анизотропии верхнего слоя для более точного определения параметров анизотропии нижнего анизотропного слоя.

На заседании 22 марта 2023 г. диссертационный совет принял решение присудить Вишневскому Д.М. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 4 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации (по физико-математическим наукам), участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 16, против - нет, недействительных бюллетеней нет.

Заместитель председателя
диссертационного совета,
Д.Г.-М.Н.



В.С. Селезнев

Ученый секретарь
диссертационного совета,
Д.Г.-М.Н., доцент

Н.Н. Неведрова

23.03.2023