

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА

Д 999.141.03 НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК.

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 16 марта 2018 г. № 39

О присуждении Лисице Вадиму Викторовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Численные методы и алгоритмы расчета волновых сейсмических полей в средах с локальными осложняющими факторами» по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» принята к защите 01 декабря 2017 г., протокол № 38, диссертационным советом Д 999.141.03 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института вычислительных технологий Сибирского отделения Российской академии наук, (630090, ИВТ СО РАН, пр. Ак. Лаврентьева, 6, Новосибирск, Россия, приказ Минобрнауки России от 09 ноября 2012 г. № 717/нк).

Соискатель Лисица Вадим Викторович, 1980 года рождения. Диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Спектрально-согласованные сетки для моделирования волновых процессов» защитил в 2007 году в диссертационном совете, созданном на базе Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН. Работает в должности заведующего лабораторией в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук.

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 консультант — доктор физико-математических наук, профессор Чеверда Владимир Альбертович, заведующий лабораторией многоволновых сейсмических исследований Федерального государственного бюджетного

учреждения науки Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

Глинский Борис Михайлович, доктор технических наук, заведующий лабораторией Сибирский суперкомпьютерный центр Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук;

Кобельков Георгий Михайлович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой вычислительной математики Механико-математического факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»;

Садовский Владимир Михайлович, доктор физико-математических наук, профессор, директор Института вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук — обособленного подразделения Федерального исследовательского центра «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт математики им. С.Л. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск, в своем положительном заключении, подписанном Белоносовым Владимиром Сергеевичем, доктором физико-математических наук, профессором, руководителем лаборатории дифференциальных уравнений и смежных вопросов анализа, и Сказкой Валерием Всеволодовичем, доктором физико-математических наук, профессором, ведущим научным сотрудником лаборатории дифференциальных уравнений и смежных вопросов анализа, указала, что диссертация В.В. Лисицы соответствует требованиям пункта 9 Положения о присуждении ученых степеней. Это научно-квалификационная работа, в которой на основе комбинирования разных математических моделей, численных методов и дискретизаций решена научная проблема — разработаны методы и реализованы алгоритмы расчета волновых сейсмических полей с локальными осложняющими

факторами, такими как анизотропия, поглощение сейсмической энергии, скопления мелкомасштабных неоднородностей и наличие резко контрастных границ со сложной геометрией, что является значительным вкладом в развитие математического аппарата сейсмических исследований и практически значимо при разработке методов и методик обработки сейсмических данных при поиске полезных ископаемых. Диссертация соответствует специальности 05.13.18 — математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, полностью удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук.

Соискатель имеет более 70 опубликованных научных работ по теме диссертации, в том числе статей 19 в изданиях из списка ВАК (21.2 п.л./15.7 п.л.). В совместных работах **вклад соискателя** является значимым: ему принадлежат основные идеи по разработке и реализации методов и алгоритмов комбинирования разных дискретизаций, численных методов и математических моделей для численного моделирования волновых сейсмических полей в средах с локальными осложняющими факторами. Конфликт интересов с соавторами отсутствует.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

Лисица В.В. Дисперсионный анализ разрывного метода Галеркина в применении к уравнениям динамической теории упругости / В.В. Лисица // Вычислительные методы и программирование. - 2015. - Т. 15. - С. 387-406.

Lisitsa V. Combination of the discontinuous Galerkin method with finite differences for simulation of seismic wave propagation / V. Lisitsa, V. Tcheverda, C. Botter // Journal of Computational Physics. - 2016. - V. 311. - С. 142-157.

Lisitsa V. Numerical simulation of seismic waves in models with anisotropic formations: coupling Virieux and Lebedev finite-difference schemes / V. Lisitsa, V. Tcheverda, D. Vishnevsky // Computational Geosciences. - 2012. - V. 16. - N. 4. - P. 1135-1152.

Lisitsa V. Lebedev scheme for the numerical simulation of wave propagation in 3D anisotropic elasticity / V. Lisitsa, D. Vishnevskiy // Geophysical Prospecting. - 2010.- V. 58., N. 4. - P. 619-635.

Помимо отзывов от оппонентов и ведущей организации на диссертацию и автореферат поступило 8 отзывов (все отзывы положительные, из них 1 без замечаний). Это отзывы от: 1) **Давыдовой Е.А.** (д.т.н., начальник управления реализации геологоразведочных работ на шельфе, ПАО «НК «Роснефть», г. Москва); 2) **Рукавишников В.А.** (д.ф.-м.н., профессор, главный научный сотрудник, Вычислительный центр ДВО РАН, г. Хабаровск); 3) **Книжнермана Л.А.** (д.ф.-м.н. начальник отдела развития технологий математического моделирования, АО «Центральная геофизическая экспедиция», г. Москва); 4) **Кулакова И.Ю.** (д.г.-м.н., чл.-корр. РАН, зам. директора по научной работе по направлению геофизика, Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, г. Новосибирск); 5) **Позднякова В.А.** (д.т.н., профессор, Институт нефти и газа Сибирского федерального университета, г. Красноярск); 6) **Каштана Б.М.** (д.ф.-м.н., профессор, Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург); 7) **Решетовой Г.В.** (д.ф.-м.н., в.н.с., Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск); 8) **Эпова М.И.** (д.т.н., академик РАН, г.н.с., Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, г. Новосибирск).

В отзывах высказаны следующие критические замечания (приведены наиболее существенные):

1) В автореферате часто встречается утверждение, что нефизичные отражения не превосходят определенных значений, что, по утверждению автора, приемлемо при сейсмическом моделировании. Однако сами эти значения зачастую не конкретизируются и, тем более, утверждение не подтверждается иллюстративным материалом – результатами тестов. При этом в тексте самой диссертации все это приведено, детально описано и проиллюстрировано.

2) На каких компьютерах были проведены численные эксперименты? В случаях распараллеливания, что можно сказать о его качестве?

3) На рис. 13 приведены сейсмограммы, рассчитанные методом Галеркина с разными базисными функциями. Эти сейсмограммы внешне ничем не отличаются, почему же нигде не приводится их разность, относительная ошибка? Если же автор хотел показать, что они действительно близки, а отличие лишь во времени счета и

объеме памяти, тогда почему эти характеристики отсутствуют в описании эксперимента?

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что оппоненты являются ведущими специалистами по теме диссертации Лисицы В.В., результаты исследований оппонентов и в ведущей организации, полученные за последние годы, опубликованы в ведущих зарубежных и отечественных журналах, что позволяет им дать всестороннюю глубокую оценку результатам, представленным в диссертационной работе.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан новый метод численного моделирования волновых процессов в средах со скоплениями неоднородностей субсейсмического масштаба (коридоры трещиноватости, скопления каверн), основанный на локальном пространственно-временном измельчении сеток;

разработан новый метод численного моделирования волновых процессов в средах, содержащих локальные анизотропные включения, основанный на комбинировании стандартной схемы на сдвинутых сетках и схемы Лебедева;

разработан новый алгоритм моделирования волновых процессов в средах с вязкоупругими включениями, основанный на локальном использовании обобщенной стандартной линейной модели твердого тела с оптимизированным разбиением расчетной области;

разработан новый метод расчета волновых полей в моделях с резкоконтрастными границами со сложной геометрией, основанный на комбинировании метода конечных разностей и разрывного метода Галеркина;

доказана перспективность разработки и практического применения новых методов с локальным выбором численного метода для расчета волновых сейсмических полей в сложноустроенных геологических средах с использованием вычислительных систем с параллельной архитектурой;

предложены оригинальные подходы к комбинированию известных численных методов, основанные на требовании сохранения порядка сходимости решения в виде плоских волн в окрестности поверхностей, на которых происходит комбинирование.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

применительно к проблематике диссертации результативно (с получением обладающих новизной результатов) использованы современные достижения в области вычислительной математики, в частности в теории конечно-разностных и вариационных методов решения гиперболических уравнений; использована теория распространения волн в упругих и вязкоупругих средах и ее обобщение на модели анизотропных сред;

изложены теория и принципы комбинирования численных методов для моделирования волновых сейсмических процессов;

теоретически и численно **исследована** корректность получаемых начально-краевых задач для разностных уравнений;

с использованием разработанных численных методов **изучены** проявления флюидонасыщения мелкомасштабных неоднородностей в сейсмических полях; влияние изменений профиля рельефа свободной поверхности на повторяемость данных при сейсмическом мониторинге и пр.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработанные численные методы решения задач динамической теории упругости для сред с анизотропными, вязкоупругими и мелкомасштабными включениями и резкоконтрастными границами со сложной геометрией позволяют существенно снизить время вычислений и потребности в вычислительных ресурсах без снижения точности для проведения расчетов волновых полей в средах с локальными осложняющими факторами, что является важным вкладом в развитие методологической и алгоритмической составляющей сейсмических методов исследования земной коры. Алгоритмы, реализованные в виде научно-исследовательских версий программ, применяются для анализа проявлений осложняющих факторов среды в регистрируемых сейсмических полях при разработке методов и методик обработки сейсмических данных для повышения разрешающей способности и информативности сейсмических методов в рамках выполнения планов НИР и государственных заданий ИНГГ СО РАН, грантов РФФИ и совместных работ с ООО "РН-КрасноярскНИПИнефть" в период с 2008 по 2017 годы;

обосновано применение разработанных численных методов для развития методологии обработки сейсмических данных, построения сейсмических изображений; для оценки региональной сейсмической опасности, обусловленной локальным геологическим строением.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что

теория основана на современных математических моделях и численных методах решения гиперболических систем уравнений математической физики; на теории распространения сейсмических волн;

идея базируется на комбинировании современных наиболее эффективных численных методов с сохранением порядка сходимости решения в виде плоских волн в окрестности поверхностей, на которых происходит комбинирование;

использованы современный математический аппарат численных методов, включая метод конечных разностей и разрывный метод Галеркина, для аппроксимации начально-краевых задач динамической теории упругости, теория корректности начально-краевых задач для гиперболических систем уравнений в частных производных; теория рациональных аппроксимаций для локализации операторов;

тестирование разработанных методов и алгоритмов **проводилось** сравнительным анализом с известными аналитическими решениями для случаев, когда такие решения могут быть построены в явном виде; для более сложных моделей **верифицировалась** корректность описания ключевых характеристик решения, таких как амплитуды волн, времена вступления.

Личный вклад соискателя: постановка задач комбинирования численных методов для учета локальных осложняющих факторов; теоретическое и численное исследование известных математических и численных методов и обоснование их выбора для аппроксимации системы динамической теории упругости для рассматриваемого класса моделей; анализ корректности получаемых начально-краевых разностных задач; разработка оригинальных подходов к комбинированию численных методов, основанных на минимизации нефизичных отражений от поверхности, на которой происходит комбинирование; теоретический и численный анализ нефизичных отражений; анализ эффективности параллельной реализации разработанных алгоритмов при организации вычислений с использованием

библиотеки MPI (от английского message passing interface); проведение численного моделирования волновых процессов в реалистичных моделях геологических сред, анализ и интерпретация результатов моделирования, представление материала и подготовка публикаций по выполненной работе.

На заседании 16 марта 2018 г. диссертационный совет принял решение **присудить Лисице В.В. ученую степень доктора физико-математических наук.**

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 6 докторов наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» (физико-математические науки), участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за — 17, против — 0, недействительных бюллетеней — 0.

Председатель

диссертационного совета

академик



Шокин

Шокин Юрий Иванович

Ученый секретарь

диссертационного совета

к.ф.-м.н.

Лебедев

Лебедев Александр Степанович

«21» марта 2018 г.