

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 003.061.02,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ
МАТЕМАТИКИ И МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ГЕОФИЗИКИ СИБИРСКОГО
ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, МИНИСТЕРСТВО НАУКИ
И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 13.10.2020 г. № 19

О присуждении Зяткову Николаю Юрьевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка и оптимизация программного комплекса для дифракционного моделирования сейсмических волн с адаптацией под графические ускорители» по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» принята к защите 28 января 2020 года (протокол заседания №16) диссертационным советом Д 003.061.02, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 6, созданного приказом Минобрнауки России №105/нк-209 от 11.04.2012 г.

Соискатель Зятков Николай Юрьевич, 1990 года рождения. В 2016 году окончил очную аспирантуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации. Работает инженером в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Института вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре систем информатики факультета информационных технологий Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, доцент Айзенберг Аркадий Маркович, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А.Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук (ИНГГ СО РАН), лаборатория динамических проблем сейсмологии.

Официальные оппоненты:

Петров Игорь Борисович – член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)», заведующий кафедрой вычислительной физики;

Дятлов Глеб Владимирович – кандидат физико-математических наук, доцент, Новосибирский технологический центр компании «Бейкер Хьюз», заместитель директора по науке, – **дали положительные отзывы на диссертацию.**

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геофизики им. Ю.П. Булашевича Уральского отделения Российской академии наук (ИГФ УрО РАН), г. Екатеринбург, **в своем положительном заключении**, подписанном Мартышко Петром Сергеевичем, член-корреспондентом РАН, доктором физико-математических наук, профессором, заведующим лабораторией математической геофизики, **указала**, что диссертационная работа Н.Ю. Зятькова «Разработка и оптимизация программного комплекса для дифракционного моделирования сейсмических волн с адаптацией под графические ускорители» является научно-квалификационной работой, соответствующей требованиям Министерства образования и науки РФ, предъявляемым к диссертациям на соискания учёной степени кандидата наук, установленными «Положением о порядке присуждения ученых степеней», а её автор Зятков Николай Юрьевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Соискатель имеет 31 опубликованную работу, в том числе по теме диссертации опубликовано 31 работа, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 2 работы. Работы представляют собой научные публикации (2 работы опубликованы в изданиях, включённых в перечень ВАК), зарегистрированный программный комплекс для ЭВМ, публикацию в виде главы в учебном пособии, публикации в трудах международных конференций, тезисы международных и российских конференций общим объемом 147 страниц (9.19 печатных листов) и в полном объеме отражают содержание диссертации. В диссертации **отсутствуют недостоверные сведения** об опубликованных соискателем ученой степени работах. В работах отражены все основные результаты научного исследования.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. **Н.Ю. Зятыков**, А.А. Айзенберг, А.М. Айзенберг. Высокооптимизированная реализация процедуры распространения волнового поля в трёхмерных геологических средах с адаптацией для GPU-кластера. Вестник НГУ Серия: Информационные технологии, 2016, 14, 2, с. 38-51 <https://elibrary.ru/item.asp?id=27033598>

Авторский вклад заключается в разработке и численной реализации процедуры распространения волнового поля представляющей собой заполнение и перемножение набора крупноразмерных плотных матриц на набор векторов. Также вклад автора заключается в алгоритмической оптимизации этой процедуры и адаптации для параллельных архитектур.

Объем печатных листов личного вклада соискателя 0.29 п.л.

2. **Н.Ю. Зятыков**, А.А. Айзенберг. Высокооптимизированная реализация вычисления матрицы тени для моделирования каскадной дифракции в геологических слоях. Вестник НГУ Серия: Информационные технологии, 2016, 14, 2, с. 17-37 <https://elibrary.ru/item.asp?id=27033597>

Авторский вклад заключается в участии в разработке и численной реализации процедуры заполнения нулями и единицами крупноразмерной матрицы тени, которая для заданной триангулированной границы определяет её освещённые и затенённые участки относительно друг друга. Также автор предлагает алгоритм сжатия и хранения этой матрицы на жёстком диске ЭВМ и алгоритм адаптации заполнения матрицы тени под параллельные архитектуры.

Объем печатных листов личного вклада соискателя 0.66 п.л.

3. Свидетельство № 2015662020. Высокооптимизированный пакет программ МНКВ для дифракционного моделирования / **Зятков Н.Ю.**, Айзенберг А.А., Айзенберг А.М.; Федеральная служба по интеллектуальной собственности РФ (Роспатент) – заявка № 2015617805, дата поступления 25 августа 2015 г, зарегистрирована 16 ноября 2015.

Авторский вклад заключается в участии в создании компьютерного кода, отладке подпрограмм, тестировании программного комплекса, оптимизации скорости вычислений программным комплексом, адаптации программного комплекса для GPU-кластера.

4. **Зятков, Н.Ю.**, Айзенберг, А.А., Айзенберг, А.М., Романенко, А.А. Вычисление на GPUs волнового поля в трехмерных геологических средах методом наложения концевых волн, глава 2.2, стр. 66-87 // Математическое моделирование и программная модель CUDA: учебное пособие / А. В. Снытников, А. С. Колганов, Н. Н. Попова. – Москва: МАКС Пресс, 2018. – 176 с. – (Суперкомпьютерное образование). ISBN 978-5-317-05911-8. <https://istina.cemirras.ru/publications/book/155291176/>

Авторский вклад заключается в проведении анализа особенностей и проблем программной реализации алгоритма метод наложения концевых волн (МНКВ), оптимизации программной реализации алгоритма МНКВ, реализации алгоритма МНКВ для GPU и GPU-кластера, настройки программного комплекса для вычисления волновых полей под ангидритовой прослойкой и проведении вычислительного эксперимента.

Объем печатных листов личного вклада соискателя 0.34 п.л.

5. **Zyatkov N.**, Ayzenberg A., Aizenberg A.M., Romanenko A., and Andersson F. Modeling of cascade diffraction in terms of unsparse propagation-absorption matrices – realization and optimization for GPU. Extended Abstracts, 74th Conference and Exhibition, European Association of Geoscientists & Engineers, Copenhagen, Denmark, 4-7 June 2012, P288. <http://earthdoc.eage.org/publication/publicationdetails/?publication=59531>

Авторский вклад заключается в участии в создании, отладке и тестировании компьютерного кода, вычисляющего волновое поле для модели акустического полупространства с клиновидной границей в приближении 1-го акта каскадной дифракции.

Объем печатных листов личного вклада соискателя 0.05 п.л.

6. **Zyatkov N.**, Ayzenberg A., Aizenberg A.M., and Romanenko A. Highly-optimized TWSM Algorithm for Modeling Cascade Diffraction in Terms of Propagation-absorption Matrices. Extended Abstracts, 75th Conference and Exhibition, European Association of Geoscientists & Engineers, London, England, 10-13 June 2013, Th-P02-11. <http://earthdoc.eage.org/publication/publicationdetails/?publication=69116>

Авторский вклад заключается в участии в создании, отладке и тестировании компьютерного кода, вычисляющего волновое поле для модели акустического полупространства с двуклинной (W-образной) границей в приближении двукратной дифракции.

Объем печатных листов личного вклада соискателя 0.06 п.л.

7. A.M. Aizenberg, **N.Y. Zyatkov**, A.A. Ayzenberg, E.Z. Rakshaeva. New concepts of the transmission-propagation operator theory in seismic diffraction modeling and interpretation. Extended Abstracts, 76th EAGE Conference & Exhibition, Amsterdam, Netherlands, 16-19 June 2014, We P06 07. <http://www.earthdoc.org/publication/publicationdetails/?publication=76132>

Авторский вклад заключается в участии в создании, отладке и тестировании компьютерного кода, вычисляющего волновое поле (огибающее и преломленное) и его отдельные дифракционные составляющие для модели акустического полупространства с двуклинной (W-образной) границей.

Объем печатных листов личного вклада соискателя 0.06 п.л.

8. **N. Zyatkov**, A.A. Ayzenberg, K.O. Omosanya, A. Romanenko, A.M. Aizenberg. Evaluation of diffracted wavefields below the salt stringer using the transmission-propagation operator theory and TWSM software package. Proceedings of the 2nd International Conference on Applications in Information Technology (ICAIT-2016), October, 6-8, 2016, University of Aizu, Aizu-Wakamatsu, Japan, p. 21-24.

Авторский вклад заключается в отладке и использовании разработанного автором в соавторстве программного комплекса МНКВ для вычисления волнового поля, а также его отдельных волновых и дифракционных составляющих для трёхслойной модели с плотным дискообразным включением (ангидритовый диск) в среднем слое.

Объем печатных листов личного вклада соискателя 0.05 п.л.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

На автореферат поступило 2 отзыва. Все отзывы положительные. В отзывах

отмечается актуальность, научная новизна и практическая значимость полученных результатов. Отмечено, что диссертационная работа соответствует специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

1. Отзыв на автореферат, подписанный д.ф.-м.н. Лаврентьевым М.М., заместителем директора по научной работе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института автоматизации и электротехники СО РАН, г. Новосибирск. Отзыв положительный, не содержит замечаний.

2. Отзыв на автореферат, подписанный доктором Яном Пейчелом, PhD в геофизике, почётным исследователем фирмы Статойл, исследовательский центр в Бергене, Норвегия. Отзыв положительный, содержит следующие вопросы:

- Было бы интересно узнать, влияет ли введение матрицы тени на качество конечных результатов моделирования?
- Подводя итог раздела 4, в таблице 4.1, где представлено время вычислений для всех протестированных моделей, общее время вычислений для модели 5 указано в секундах, а не в минутах?

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их широкой известностью своими достижениями в области математического моделирования волновых процессов, в том числе сейсмического моделирования, разработки численных методов решения гиперболических уравнений, и развития методов решения обратных задач геофизики с учётом сейсмических и сейсмологических данных; наличием у них публикаций по соответствующим направлениям и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан программный комплекс, реализующий алгоритм МНКВ для вычисления интерференционного волнового поля и его отдельных волновых компонент в акустических средах с границами сложной геометрической формы; **предложены** оптимизация программного кода МНКВ, ускоряющая вычисления приблизительно в сто раз по сравнению с исходным прототипом МНКВ 2011 года, и адаптация программного комплекса МНКВ для кластера из графических ускорителей, дополнительно ускоряющая вычисление алгоритма в тысячи и

более раз (в зависимости от числа используемых графических ускорителей) по сравнению с неадаптированной версией;

доказана точность, стабильность и эффективность программного комплекса МНКВ численными примерами для моделей акустической среды со сложными границами и сравнением результатов с аналитическими формулами, методом конечных разностей и лабораторным моделированием;

введена новая аппроксимация матричных интегральных операторов распространения и дифрагирования волнового поля четырьмя матрицами, оптимально соединяющая аналитическое описание их элементов в виде элементарных функций с устойчивостью и точностью их численной реализации.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана допустимая точность выбранной матричной аппроксимации операторов распространения, дифрагирования и композитного оператора распространения-дифрагирования в конечном диапазоне временных частот с помощью численных тестов программного комплекса МНКВ на примере строгого свойства ортогональной проекции оператора распространения;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использованы аналитические формулы композитного оператора распространения-дифрагирования, реализованные в программном комплексе МНКВ в виде процедуры быстросходящегося матрично-степенного ряда (каскадной дифракции), каждый следующий член которого является поправкой к предыдущему;

изложена аналитическая аппроксимация композитного интегрального оператора распространения-дифрагирования волнового поля суммой четырёх пучков концевых волн (ПКВ), которая оптимально соединяет элементарные формулы с устойчивостью и точностью численной реализации;

раскрыты возможности программного комплекса МНКВ вычислять строгое аналитическое решение прямой задачи акустики в неклассическом виде пары волновых амплитуд, распространяющихся во взаимно-встречных направлениях, и элементарных составляющих амплитуд, которые находятся во взаимно-однозначном соответствии с порождающими их криволинейными границами неоднородной модели среды;

изучены аналитическими методами математической теории краевых волн сложные интерференционные волновые явления, в том числе дифракционные и ползущие волны, в моделях среды с криволинейными, кусочно-криволинейными и кусочно-плоскими границами, которые не могут быть проанализированы существующими методами физического и математического моделирования;

проведена модернизация матричной аппроксимации оператора распространения, которая использовалась в предыдущей упрощённой версии МНКВ, на случай совместного использования операторов распространения и дифрагирования.

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

разработаны и внедрены вычислительные алгоритмы и их программная реализация для кластера из графических ускорителей для вычисления волновых полей в слоистых средах с произвольными криволинейными и кусочно-криволинейными границами, позволяющие описывать, в том числе, отдельные отражённые, преломленные, дифракционные, головные, ползущие волны; **внедрение** упрощённой версии программной реализации МНКВ подтверждено официальным письмом от Лаборатории механики и акустики Университета Экс-Марсель (г. Марсель, Франция);

определены перспективы практического использования разработанного программного комплекса МНКВ в качестве моделирующего ядра в оптимизационном подходе для решения обратной задачи сейсмологии с помощью послойного восстановления границ и материальных свойств;

создан программный комплекс для кластера из графических ускорителей, реализующего алгоритм МНКВ для вычисления интерференционного волнового поля и его отдельных волновых компонент в акустических средах с границами сложной геометрической формы;

представлены выводы о применимости программного комплекса МНКВ не только для сейсмических задач (декагерцовый диапазон), но и для других задач, использующих акустические волны: 1) акустическое моделирование (килогерцовый и мегагерцовый диапазоны), 2) сейсмология и ГСЗ (герцевый и децигерцовый диапазоны), 3) методы неразрушающего контроля ультразвуком (килогерцовый и мегагерцовый диапазоны), 4) ультразвук в медицине (мегагерцовый диапазон) и т.п.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ показана высокая эффективность вычислений программным комплексом МНКВ на конкурсе «GPU: серьёзные ускорители для больших задач», организованном в 2013 году компанией NVIDIA и Московским государственным университетом им. М.И. Ломоносова, что было отмечено первым местом в номинации «Эффективное приложение»;

теория МНКВ основана на применении аппроксимации в диапазоне сейсмических частот операторов теории операторов прохождения-распространения-дифрагирования (ТОПРД), разработанной сотрудниками ИНГГ

СО РАН (один из авторов – научный руководитель соискателя) в последние десятилетия;

идея базируется на способности интегральных операторов ТОПРД воспроизводить точное аналитическое решение прямой задачи для неоднородной среды с гладкими и кусочно-гладкими границами в специфических терминах математической теории волн (например, в акустике: пара продольных волновых амплитуд, распространяющихся во взаимно противоположных направлениях);

использованы многочисленные литературные источники, содержащие информацию об известных методах физического и математического моделирования линейных волновых процессов в неоднородных средах, о теории операторов прохождения-распространения-дифрагирования, о результатах применения исходного прототипа МНКВ, который не имел возможности вычислять каскадную дифракцию;

установлено хорошее количественное совпадение авторских результатов, вычисленных программным комплексом МНКВ, с результатами математического моделирования аналитическим методом и методом конечных разностей, которое подкреплено сравнением сейсмограмм, вычисленных исходным прототипом МНКВ, с физическим моделированием в Лаборатории механики и акустики Университета Экс-Марсель (г. Марсель, Франция) в рамках международного проекта BENCHIE;

использованы современные информационные технологии: программирование и оптимизация для кластера из графических ускорителей для реализации высокооптимизированного программного комплекса МНКВ.

Личный вклад соискателя состоит в:

- аналитико-численном исследовании при поиске оптимальной аналитической аппроксимации композитного интегрального оператора распространения-дифрагирования волнового поля (в соавторстве с коллегами по исследовательскому проекту),
- разработке численных и оптимизационных алгоритмов,
- составлении и отладке компьютерных программ,
- проведении вычислительных экспериментов.

На заседании **13 октября 2020 года** диссертационный совет принял решение **присудить** Зяцькову Н.Ю. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18

человек, из них 13 докторов наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 18, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель

Диссертационного совета Д 003.061.02

доктор физико-математических наук,
член-корреспондент РАН, профессор



Кабанихин С.И.

Учёный секретарь

Диссертационного совета Д 003.061.02

доктор физико-математических наук,
доцент



Сорокин С.Б.

«13» октября 2020 года