

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д.212.173.06,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ», ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 29.06.2022 г. протокол № 4

О присуждении Сиваку Сергею Андреевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка алгоритмов численного решения задач электромагнетизма с использованием скалярных и векторных граничных элементов» по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» принята к защите «15» апреля 2022 г., протокол № 8, диссертационным советом Д 212.173.06 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования РФ, 630073, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, создан на основании приказа №105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель Сивак Сергей Андреевич, «1» октября 1990 года рождения. В 2013 году окончил магистратуру по направлению «Прикладная математика и информатика» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», выдан диплом и присвоена квалификация (степень) «Магистр» по направлению подготовки 010400 прикладная математика и информатика. Соискатель окончил аспирантуру Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ». Срок обучения в аспирантуре с 01.09.2017 года по 31.08.2021 г. Работает младшим научным сотрудником в научно-исследовательской лаборатории моделирования и обработки данных наукоемких технологий ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет».

Диссертация выполнена на кафедре прикладной математики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования

«Новосибирский государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования РФ.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Рояк Михаил Эммануилович, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», кафедра прикладной математики, профессор.

Официальные оппоненты:

1. Шкаруба Виталий Аркадьевич, доктор технических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук, лаборатория 8-2, заведующий лабораторией;

2. Митин Константин Александрович, кандидат технических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук, лаборатория интенсификации процессов теплообмена, научный сотрудник;

дали положительные отзывы о диссертации.

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 Свешниковым Виктором Митрофановичем, доктором технических наук, доцентом, главным научным сотрудником Лаборатории вычислительной физики, и утвержденном Марченко Михаилом Александровичем, доктором физико-математических наук, профессором Российской академии наук, директором Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук, указала, что диссертационная работа Сивака Сергея Андреевича «Разработка алгоритмов численного решения задач электромагнетизма с использованием скалярных и векторных граничных элементов» отвечает требованиям, установленным в п.п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

По теме диссертации соискатель имеет 10 опубликованных работ, в том числе 3 научные публикации, опубликованные в журналах, входящих в перечень изданий, рекомендуемых ВАК РФ, 3 публикации в научных журналах, входящих в международную реферативную базу данных Scopus, 5 публикаций в материалах и

докладах Международных и Российских конференций. Получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Недостоверные сведения об опубликованных работах отсутствуют. Авторский вклад в опубликованных в соавторстве работах составляет не менее 60%. Общий объем опубликованных работ составляет 4,3 печатных листа.

Основные публикации по теме диссертации:

1. Сивак С. А., Ступаков И. М., Кондратьева Н. С. Комбинированный векторный метод конечных и граничных элементов для задачи распространения электромагнитного поля с учетом вихревых токов // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. – 2018. – № 4. – С. 79-90. [Соискателем разработан алгоритм совместного использования векторных конечных и граничных элементов]

2. Сивак С. А., Рояк М. Э., Ступаков И. М., Алексагин А. С., Вознюк Е. С. Использование метода граничных элементов при решении уравнения Гельмгольца для задачи акустики // Информационно-управляющие системы. – 2021. № 2. С. 13-19. [Соискателем реализован алгоритм построения системы линейных алгебраических уравнений метода граничных элементов]

3. Сивак С. А., Рояк М. Э., Ступаков И. М. Использование метода быстрых мультиполей при оптимизации метода граничных элементов для решения уравнения Гельмгольца // Сибирский журнал индустриальной математики. – 2021. – Т. 24, № 3. – С. 83-100. [Соискателем разработан и реализован алгоритм оптимизации преобразований вращения для частичной суммы мультипольного ряда, реализовано построение коэффициентов частичной суммы мультипольного ряда]

4. Sivak S., Royak M. and Stupakov I., Coupling of Vector and Scalar Boundary Element Methods // 2021 XV International Scientific-Technical Conference on Actual Problems Of Electronic Instrument Engineering (APEIE). – 2021. – С. 616-620. [Соискателем разработан и реализован алгоритм совместного использования векторных и скалярных граничных элементов]

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ:

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ: Boundary Element Singular Solution Evaluator of Locals / С. Сивак. – № 2021680221; заявл. 26.11.2021; опубл. 08.12.2021

Все выносимые на защиту положения получены автором лично.

На диссертацию и автореферат поступили следующие отзывы (все положительные):

1. Крючкова Елена Николаевна, кандидат физико-математических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего

образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», кафедра Прикладной математики, профессор кафедры.

Замечания: Некоторым недостатком автореферата является то, что из описания программных реализаций на стр.15 остается неясным, по какой причине был выбран для реализации вычислительных компонент язык С# (вероятно, на этом языке написан весь комплекс, но это почему-то не указано). Кроме того, неясно, о каких именно двух этапах реализации идет речь, поскольку про первый этап написано очень скупо, а про второй не написано вообще ни слова.

2. Лаповок Андрей Яковлевич, кандидат технических наук, доцент, Федеральное государственное унитарное предприятие «Крыловский государственный научный центр», сектор математического моделирования физических полей, начальник сектора.

Замечания по автореферату: 1. Не отражен «алгоритм вращения коэффициентов мультипольного ряда в быстром мультипольном методе», вынесенный на защиту. 2. Нерасшифрованные обозначения и опечатки. Например, пропущен куб в знаменателе закона Био-Савара. Электропроводимость измеряется то в Ом^{-1} , то в См/м .

3. Каледин Валерий Олегович, доктор технических наук, профессор, Кузбасский гуманитарно-педагогический институт федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кемеровский государственный университет», научно-исследовательская лаборатория математического моделирования, заведующий лабораторией.

Замечание: не приведены данные о практическом использовании полученных теоретических результатов.

4. Ганджа Тарас Викторович, доктор технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники», кафедра Компьютерных систем в управлении и проектировании, профессор кафедры.

Замечание. Вероятно, некоторые аспекты решения задачи учёта вихревых токов при моделировании магнита сложной формы являются не слишком оптимальными. Например, применялась функция зависимости величины тока в обмотке магнита от времени, которая терпит изломы. Это можно видеть на графике функции тока на странице 18. Очевидно, эти изломы являются причиной большого числа слагаемых частичной суммы ряда Фурье в разложении данной функции – это число равно четырёмстам. Сглаживание функции тока скорее всего привело бы к существенному сокращению числа этих слагаемых.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их широкой известностью своими достижениями в данной отрасли науки, наличием публикаций в соответствующей сфере исследования и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

Область научных интересов оппонента, доктора технических наук, заведующего лабораторией 8-2 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук, **Шкарубы Виталия Аркадьевича**, связана с изучением влияния вихревых токов в ускорительной технике. В частности, официальным оппонентом в его диссертационной работе на соискание ученой степени доктора технических наук была решена проблема механической деформации, возникавшей в стенках лайнера (негерметичной медной камеры, которая в качестве отдельного конструктивного элемента вставляется внутрь гелиевой камеры и охлаждается ступенями криокулеров до температуры ниже 10 К) под действием вихревых токов от резкого затухания поля при потере сверхпроводимости в магните.

Сфера научных интересов и тематика исследований оппонента, кандидата технических наук, сотрудника лаборатории интенсификации процессов теплообмена Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук, **Митина Константина Александровича**, связана с использованием метода конечных элементов для численного моделированием конвективно-радиационного теплообмена в методе выращивания кристаллов Чохральского в режимах ламинарного течения и ламинарно-турбулентного перехода.

В Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук активно занимаются рядом научных проблем, тематика которых пересекается с содержанием диссертационной работы Сивака Сергея Андреевича, а именно: численным моделированием явлений, имеющих электромагнитную природу, а также вопросами оптимизации вычислений с использованием параллельных вычислительных технологий.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

показана эффективность использования векторного метода граничных элементов для получения численных значений магнитной индукции для магнита сложной формы, при оценке влияния вихревых токов и оптимального числа разрезов данного магнита;

введен в рассмотрение термин «векторный метод граничных элементов»;
достоверность **подтверждается** демонстрацией сходимости результатов численного моделирования к известным аналитическим решениям модельных задач с нужным порядком аппроксимации.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

разработан алгоритм трансформации преобразованием вращения коэффициентов частичной суммы мультипольного ряда, позволяющий оптимизировать расчет с использованием быстрого мультипольного метода;

предложен новый подход к получению коэффициентов локальных матриц векторного метода граничных элементов с использованием формулы интегрирования по частям;

доказана корректность алгоритма формирования локальных матриц векторного метода граничных элементов как теоретически, так и экспериментально при решении модельных задач;

применительно к тематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использованы методы математического анализа и дифференциальной геометрии, что позволило получить эффективный метод получения значений локальных матриц векторного метода граничных элементов;

изложено описание алгоритма оптимизации получения коэффициентов мультипольного ряда при помощи преобразования поворотов;

раскрыт способ учета симметрии геометрии расчетной области, параметров среды и источников электромагнитного поля относительно координатной плоскости при использовании векторного метода граничных элементов;

изучено влияние быстрого мультипольного метода на расход времени и памяти при использовании скалярного метода граничных элементов для решения модельных задач;

определены условия, при которых основанный на интегрировании модифицированного потенциала двойного слоя алгоритм вычисления элементов локальных матриц векторного метода граничных элементов, предложенный ранее в работах других авторов, приводит к существенно менее точным численным решениям;

проведена оптимизация преобразования поворотов при вычислении коэффициентов мультипольного ряда в быстром мультипольном методе.

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

полученные результаты при проведении расчета магнитной индукции для магнита сложной формы были **внедрены** в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук, о чем имеется соответствующий акт внедрения;

представлены результаты решения задачи оценки влияния вихревых токов для моделей магнита сложной формы, отличающихся числом разрезов;

Работа проводилась при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках проекта №19-31-90052 «Моделирование электромагнитного поля комбинированным методом конечных и граничных элементов векторного типа».

Разработанное программное обеспечение зарегистрировано в Федеральной службе по интеллектуальной собственности (свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021680221 от 08.12.2021).

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ использовались алгоритмы и методы численного моделирования, реализованные в программном комплексе Quasar;

теория построена на известных положениях математического анализа, дифференциальной геометрии, численных методах, достоверность и обоснованность научных положений, рекомендаций и выводов обеспечивается корректным использованием методов исследования, а также подтверждением полученных выводов результатами вычислительных экспериментов;

идея базируется на использовании векторного метода граничных элементов с предложенным новым подходом к формированию локальных матриц этого метода, а также на анализе возможности использования быстрого мультипольного метода для оптимизации данного подхода;

использованы известные методы численного интегрирования, а также известные алгоритмы и методы решения линейных алгебраических уравнений;

установлено, что схемы совместного использования векторного и скалярного методов граничных элементов, а также векторного метода граничных элементов и векторного метода конечных элементов, являются эффективными при оценке влияния вихревых токов в магните сложной формы;

для оценки точности полученных решений **использованы** известные аналитические решения модельных задач, с которыми проводилось сравнение, а также использовалось сравнение с вычислительными схемами, реализованными в рамках программного комплекса Quasar.

Личный вклад соискателя состоит:

в разработке вычислительной схемы, позволяющей совместное использование векторных граничных, векторных конечных и скалярных граничных элементов в рамках одного расчета;

в разработке алгоритма формирования локальных матриц для интегральных операторов векторного метода граничных элементов;

в проведении расчетов с целью проверки разработанных методов и алгоритмов, а также – для исследования их эффективности при моделировании электромагнитного поля магнита сложной формы.

В ходе защиты было высказано следующее критическое замечание: не было проведено исследование влияния ширины разреза на величину магнитной индукции для магнита сложной формы.

Соискатель Сивак С.А. согласился с замечанием, отметив, что изучение прочностных свойств магнита выходит за рамки диссертационной работы.

Диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, в которой изложены новые научно обоснованные методы, имеющие существенное значение для развития численных методов и математического моделирования явлений электромагнитной природы. Работа соответствует п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842.

На заседании «29» июня 2022 г. диссертационный совет принял решение присудить Сиваку Сергею Андреевичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 5 докторов наук по специальности 05.13.18, участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, нет человек дополнительно введенных на разовую защиту, проголосовали: за – 17, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета

Борис Юрьевич Лемешко

Учёный секретарь
диссертационного совета

Владимирович Фаддеенков

29 июня 2022 г.