

**Заключение диссертационного совета 24.1.047.01, 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 учёной степени кандидата наук**

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 19.05.2026 № 4

О присуждении Козыреву Александру Николаевичу, гражданину Российской Федерации ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Численное моделирование интенсивных пучков заряженных частиц на квазиструктурированных сетках» по специальности 1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ принята к защите 10 марта 2026 г. (протокол заседания № 2) диссертационным советом 24.1.047.01, 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 № 561/нк от 03.06.2021 г.

Соискатель Козырев Александр Николаевич, 27 сентября 1984 года рождения. В 2006 году соискатель окончил Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Российской Федерации Новосибирский государственный университет. В 2009 году соискатель окончил очную аспирантуру Учреждения Российской академии наук Института вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук. Работает научным сотрудником в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена в лаборатории вычислительной физики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук Свешников Виктор Митрофанович, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук, лаборатория вычислительной физики, главный научный сотрудник.

Официальные оппоненты:

Акимова Елена Николаевна, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт математики и механики им. Н. Н. Красовского Уральского отделения Российской академии наук, отдел некорректных задач анализа и приложений, ведущий научный сотрудник.

Мануилов Владимир Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», кафедра квантовой радиофизики и электроники, профессор.

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», г. Новосибирск в своем положительном отзыве, подписанном Батаевым Анатолием Андреевичем, доктором технических наук, профессором, ректорат, и.о. ректора, указала, что диссертация отвечает требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842. Научные результаты, полученные в работе, соответствуют паспорту специальности 1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, а ее автор Козырев Александр Николаевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Соискатель имеет 30 опубликованных работ, из них по теме диссертации опубликовано 30 работ, из них в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК, включая индексируемые в базах данных Scopus и Web of Science, опубликовано 11 работ, опубликована 1 монография, получено 4 свидетельства о государственной регистрации программ на ЭВМ. Опубликованные по теме диссертации работы представляют научные статьи в отечественных и зарубежных научных журналах. В публикациях изложены

все основные результаты кандидатской диссертации. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах. Все выносимые на защиту результаты получены автором лично. У соискателя с соавторами работ отсутствует конфликт интересов относительно результатов, выносимых на защиту.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Беляев Д.О., Козырев А.Н., Свешников В.М. Пакет прикладных программ ЭРА-DD для решения двумерных краевых задач на квазиструктурированных сетках. // Вестник НГУ. Серия: информационные технологии. – 2010. – Т.8, вып.1. – С. 3–11.

Соискатель выполнил реализацию графического интерфейса пакета на языке C++, принимал непосредственное участие в разработке структуры пакета и структуры данных для квазиструктурированной сетки, провел численные эксперименты.

2. Козырев А.Н, Свешников В.М. Расчет напряженности электрических полей при моделировании интенсивных пучков заряженных частиц в сложных 2D областях. // Вычислительные методы и программирование. – 2024. – Т. 25. № 1. – С. 10–18.

Соискатель принимал непосредственное участие в разработке алгоритма повышенной точности расчета напряженности вблизи криволинейных границ, а также выполнил численные эксперименты и провел анализ полученных результатов.

3. Козырев А.Н., Корнеев В.Д., Свешников В.М. Ускорение параллельного решения 2D краевых задач с двухсеточным предобуславливанием. // Вычислительные методы и программирование. – 2024. – Т. 25. № 2. – С. 187–196.

Соискатель принимал участие в разработке метода двухсеточного предобуславливания. Проведена его реализация на языке Fortran 90. Соискатель принимал непосредственное участие в написании параллельного кода. Провел численные эксперименты и участвовал в интерпретации полученных результатов.

4. Козырев А.Н., Свешников В.М. Моделирование интенсивных пучков заряженных частиц в протяженных электронно-оптических системах // Математическое моделирование. – 2022. – Т. 34, №3. – С. 71–84.

Соискатель принимал непосредственное участие в разработке математической модели сингулярной катодной поверхности и математической модели протяженной электронно-оптической системы для проведения расчетов на адаптивных квазиструктурированных сетках.

Создал структуры данных, технологии и провел реализации данных моделей. Выполнил численные эксперименты.

5. Козырев А.Н., Свешников В.М. О построении двумерных локально-модифицированных квазиструктурированных сеток и решении на них краевых задач в областях с криволинейной границей. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Вычислительная математика и информатика. – 2017. – Т. 6. № 2. – С. 5–21.

Соискатель принимал непосредственное участие в разработке алгоритма локальной модификации, провел исследование вблизи границы расчетной области, что позволило улучшить алгоритм локальной модификации. Разработал алгоритмы локальной модификации квазиструктурированных сеток вблизи границ сопряжения подобластей. Выполнил численные эксперименты и принимал активное участие в анализе результатов эксперимента.

6. Козырев А.Н., Свешников В.М. Экспериментальное исследование эффективности решения 2D краевых задач на подсетках квазиструктурированных прямоугольных сеток // Сибирский журнал вычислительной математики. – 2021. – №3. – С. 277–288.

Соискателем было проведено исследование по эффективности решателей на регулярных подсетках квазиструктурированных прямоугольных сеток, выполнил численные эксперименты в одиночном и серии расчетов, принимал непосредственное участие в интерпретации полученных результатов и в разработке эффективного комбинированного метода расчета по результатам численных экспериментов.

7. Козырев А.Н., Свешников В.М. Численные алгоритмы расчета объемного заряда создаваемого интенсивными пучками заряженных частиц. // Прикладная физика. – 2018. – № 1. – С. 30–35.

Соискателем были предложены алгоритмы распределения объемного заряда для трехмерных задач. Доказаны утверждения о сходимости приближенных численных алгоритмов распределения объемного заряда по узлам тетраэдральных и параллелепипедальных сеточных элементов. Провел численные эксперименты и анализ полученных результатов.

8. Сыровой В.А., Свешников В.М., Козырев А.Н. Аналитическое и численное моделирование интенсивных пучков заряженных частиц. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2023. – 316 с.

Соискатель принимал участие в написании глав Части 2.

9. Astrelin V. T., Vorobyov M. S., Kozyrev A. N., Svешnikov V. M. Numerical simulation of the operation of a wide-aperture electron gun with a grid plasma

emitter and beam extraction into the atmosphere // Journal of Applied Mechanics and Technical Physics. – 2019. – Vol. 60, № 5. – P. 785–792.

Соискатель принимал непосредственное участие в разработке математической модели протяженной электронно-оптической системы и математической модели свободной плазменной границы в ускорителе “Дуэт” для проведения расчетов на адаптивных квазиструктурированных сетках. Создал структуры данных, технологии и провел реализации данных моделей. Выполнил численные эксперименты, принимал участие в анализе результатов расчета.

10. Kozyrev A.N, Sveshnikov V.M. Automation of initial data input in program package ERA-DD for the solving of two-dimensional boundary value problems on quasistructured grids. // Bulletin of the Novosibirsk Computing Center Series: Numerical Analysis. – 2009. – № 14. – P. 11–23.

Соискателем выполнена программная реализация графического интерфейса, разработан специальный Мастер, позволяющий задать всю необходимую информацию о задаче последовательно.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. **Отзыв на автореферат** представил д.ф.-м.н., Сыровой Валерий Александрович, главный научный сотрудник АО «НПП «Торий».

Отзыв положительный и содержит следующее замечание:

- Некоторую неясность вызывает рис.2: если нет пространства взаимодействия 15-ти электронных пучков, то и нет трёхмерной задачи, проблема распадается на 15 двумерных элементов.

2. **Отзыв на автореферат** представил д.ф.-м.н., доцент, Цымблер Михаил Леонидович, заместитель директора НОЦ «Искусственный интеллект и квантовые технологии» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)». **Отзыв положительный** и содержит следующее замечание:

- При описании ускорения параллельного решения краевых задач (стр. 10) автор использует термин «сверхускорение» для обозначения суперлинейного эффекта. В области параллельных вычислений общепринятым является термин «сверхлинейное ускорение» (superlinear speedup). Кроме того, подобный эффект, как правило, связывают с более эффективным использованием кэш-памяти вычислительных узлов при уменьшении объема обрабатываемых данных в расчете на одно ядро. К сожалению, из текста автореферата

неясно, проводился ли детальный анализ причин возникновения этого эффекта и является ли он стабильным для различных размеров подсеток и макросеток.

3. **Отзыв на автореферат** представил д.ф.-м.н., Жуков Владимир Петрович, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий». **Отзыв положительный** и содержит следующее замечание:

- В работе пучки заряженных частиц рассчитываются методом трубок тока, или нитей. Недостатком автореферата является недостаточно подробное изложение этой части работы. Также возникает вопрос о целесообразности интегрирования уравнений движения методом Рунге – Кутты. В подобного рода задачах как правило достаточно использовать более простые и быстрые алгоритмы 2-го порядка.

4. **Отзыв на автореферат** представила к.т.н., доцент, Петрович Ольга Николаевна, декан факультета информационных технологий Учреждения образования «Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой». **Отзыв положительный** и не содержит замечаний.

5. **Отзыв на автореферат** представила к.ф.-м.н., Котельникова Мария Станиславовна, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук. **Отзыв положительный** и не содержит замечаний.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой квалификацией в области математического моделирования, численных методов, комплексов программ и физики электронных пучков, наличием у них публикаций по указанным направлениям и способностью определить научную и прикладную ценность диссертационной работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны программный комплекс, позволяющий проводить численное моделирование интенсивных пучков заряженных частиц, численная модель на квазиструктурированных сетках сингулярной прикатодной поверхности;

предложены математическая модель решения протяженной электронно-оптической системы с плазменным эмиттером, метод параллельного двухсеточного предобуславливания;

доказаны эффективность и точность разработанных методов, алгоритмов и программного комплекса как теоретическими оценками, так и решением ряда модельных и практических задач;

введен подход к моделированию интенсивных пучков на базе квазиструктурированных сеток.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:
доказана высокая эффективность построенных вычисленных алгоритмов при помощи аналитических оценок и численного анализа;

применительно к проблематике диссертации результативно использованы методы вычислительной математики и математического моделирования, элементы теории конечно-разностных уравнений, метод декомпозиции, метод трубок тока;

изложен алгоритм моделирования электронного пучка и оптимизация его параметров;

раскрыты сложности задачи моделирования электронно-оптической системы, работающей в режиме ограничения тока пространственным зарядом;

изучена математическая модель протяженной электронно-оптической системы, основанная на декомпозиции области на приэмиттерную и основную подобласти;

проведена модернизация математической модели протяженной электронно-оптической системы, посредством использования адаптивных квазиструктурированных локально-модифицированных сеток и альтернирующего метода Шварца с наложением подобластей.

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

разработаны и внедрены новые математические модели решения протяженной электронно-оптической системы при наличии свободной плазменной границы; разработанные модели применялись при расчете ускорителя "Дуэт" разрабатываемого в ИСЭ СО РАН и ИЯФ СО РАН в рамках междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН №10 "Развитие методов генерации мощных пучков в системах с плазменными электродами для приложений в области физического материаловедения и технологий".

определены перспективы практического применения разработанных квазиструктурированных локально-модифицированных сеток и алгоритмов на них при моделировании приборов сильноточной электроники;

создан программный комплекс для моделирование интенсивных пучков заряженных частиц в котором реализованы алгоритмы и технологии расчета на квазиструктурированных локально-модифицированных сетках;

представленные квазиструктурированные локально-модифицированные сетки и алгоритмы могут быть использованы для решения трехмерных краевых задач.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория подтверждается применением обоснованных численных методов и обеспечением законов сохранения при построении вычислительных схем;

идея базируется на методе декомпозиции расчетной области на подобласти, сопрягаемые без наложения;

использовано сравнение результатов, полученных разработанными методами, с аналитическим решением модельных задач;

установлено соответствие результатов экспериментов с теоретическими оценками;

использованы современные инструментальные средства и методы программирования для реализации программного комплекса.

Личный вклад соискателя состоит в:

- разработке технологии для программной реализации на адаптивных квазиструктурированных сетках следующих математических моделей: сингулярная катодная поверхность, протяженные электронно-оптические системы, свободная плазменная граница в ускорителе "Дуэт";
- разработке алгоритмов и технологии локальной модификации квазиструктурированных сеток вблизи границ сопряжения подобластей;
- разработке структуры данных и технологии программной реализации на квазиструктурированных сетках метода декомпозиции области на подобласти, сопрягаемые без наложения;
- доказательстве утверждений о сходимости приближенных численных алгоритмов распределения объемного заряда по узлам тетраэдральных и параллелепипедальных сеточных элементов;

- исследовании эффективности комбинированного метода решения краевых подзадач на регулярных подсетках квазиструктурированных сеток;
- разработке метода параллельного двухсеточного преобуславливания;
- разработке и реализации программного комплекса для расчета интенсивных пучков заряженных частиц на квазиструктурированных сетках.

В ходе защиты диссертации критических замечаний не поступило.

Соискатель Козырев А.Н. **ответил** на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию.

На заседании 19 мая 2026 года диссертационный совет принял решение за решение научной задачи, имеющей значение для развития методов моделирования интенсивных пучков **присудить** Козыреву А.Н. учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 11 докторов наук по специальности 1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, участвовавших в заседании, из 21 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 15, против 0, недействительных бюллетеней 0.

И.о. председателя
диссертационного совета 24.1.047.01
доктор технических наук,
профессор

Ельцов Игорь Николаевич

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.1.047.01
доктор физико-математических наук,
доцент

Сорокин Сергей Борисович

19 мая 2026 г.

