

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 003.061.02
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ
МАТЕМАТИКИ И МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ГЕОФИЗИКИ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ФЕДЕРАЛЬНОГО АГЕНТСТВА НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 28 февраля 2017 г. № 4

О присуждении Марченко Михаилу Александровичу, гражданину Российской Федерации, **ученой степени доктора** физико-математических наук.

Диссертация «Численное статистическое моделирование кинетических процессов диффузии, коагуляции и переноса заряженных частиц с использованием распределённых вычислений» **по специальности** 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ **принята к защите** 18 октября 2016 г., **протокол № 10, диссертационным советом Д 003.061.02 на базе** Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук, Федеральное агентство научных организаций, 630090, г. Новосибирск, проспект академика Лаврентьева, 6, созданным приказом Минобрнауки России №105/нк-209 от 11.04.2012 г.

Соискатель Марченко Михаил Александрович 1973 года рождения, **диссертацию на соискание ученой степени кандидата** физико-математических наук «Оптимизация и параллельная реализация статистического моделирования диффузионных процессов» **защитил** в 2002 году, **в диссертационном совете, созданном на базе** Учреждения Российской академии наук Института вычислительной математики и математической

геофизики Сибирского отделения РАН, **работает** ученым секретарем в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Института вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук, Федеральное агентство научных организаций, г. Новосибирск.

Диссертация выполнена в лаборатории методов Монте-Карло Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук, Федеральное агентство научных организаций, г. Новосибирск.

Научный консультант - доктор физико-математических наук Рогазинский Сергей Валентинович, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск, лаборатория методов Монте-Карло, заведующий лабораторией.

Официальные оппоненты:

Лемешко Борис Юрьевич, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», г. Новосибирск, кафедра теоретической и прикладной информатики, главный научный сотрудник;

Перцев Николай Викторович, доктор физико-математических наук, профессор, Омский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института математики им. С.Л. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук, г. Омск, лаборатория теоретико-вероятностных методов, главный научный сотрудник;

Сушкевич Тамара Алексеевна, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской

академии наук», г. Москва, отдел 3 «Динамические системы», главный научный сотрудник,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», г. Санкт-Петербург, **в своем положительном заключении, подписанном** Бухановским Александром Валерьевичем, доктором технических наук, профессором, кафедры высокопроизводительных вычислений, заведующий кафедрой, **указала, что** диссертация М.А. Марченко представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, является самостоятельной квалификационной научной работой, раскрывающей сформулированную автором цель исследования; в ней получен ряд научных положений, совокупность которых можно квалифицировать как вклад в выбранное научное направление. Отмечается, что работа содержит научно обоснованные алгоритмические и программные решения, внедрение которых в виде программного обеспечения способно внести значительный вклад в теорию и практику математического моделирования кинетических процессов в практически важных приложениях; обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе автора в науку; имеет научную и практическую значимость, в ней содержатся рекомендации по практическому использованию научных выводов. Указывается, что диссертация соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 с изменениями, внесенными Постановлением Правительства РФ от 21 апреля 2016 г. № 335 «О внесении изменений в Положение о присуждении ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор

заслуживает присуждения искомой ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Соискатель имеет 72 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации 63 работы, опубликованных в рецензируемых научных изданиях из списка ВАК 19 публикаций.

Краткая характеристика научных работ соискателя.

По теме диссертации автором опубликованы следующие **виды работ**: 19 публикаций в рецензируемых научных изданиях из списка ВАК, 4 публикации в изданиях, индексируемых в базах Scopus и Web of Science, 1 монография, 21 статья в трудах конференций, 10 работ в прочих изданиях. Представленные работы в полном объеме отражают содержание диссертации.

Автором лично получено 7 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ (BOUNDARY-МС, CONCENTRATION-МС, COAGULATION-МС, PARMONC, PARMONC-PC, MONC, PARGENER-МС); два свидетельства (ELSHOW, AMIKS) получены в соавторстве, где **авторский вклад** заключается в разработке алгоритмов и структуры программ, их отладке и адаптации к многопроцессорным вычислительным системам.

Общий объем научных изданий - 745 страниц (46,6 печатных листа), из них автору принадлежит 66,4 %, что составляет 494 страницы (30,9 печатных листа). Соавторы согласны с авторским вкладом; у соискателя отсутствует конфликт интересов с соавторами по публикациям и свидетельствам о государственной регистрации программы для ЭВМ.

В опубликованных работах **авторский вклад** заключается:

- в разработке, обосновании и валидации вероятностных моделей кинетических процессов диффузии, коагуляции и переноса заряженных частиц, в создании и верификации реализующих их экономичных параллельных алгоритмов численного статистического моделирования;

- в разработке и исследовании параллельных генераторов псевдослучайных чисел и методики распределённого численного статистического моделирования на высокопроизводительных вычислительных системах, обеспечивающих возможность проведения коррелированных расчётов и численного параметрического анализа вероятностных моделей;
- в разработке имитационных моделей параллельных программ численного статистического моделирования с целью оценки их масштабируемости для перспективных экзафлопсных вычислительных систем;
- в создании универсальных библиотек и прикладных программ численного статистического моделирования;
- в проведении необходимых вычислительных экспериментов с целью валидации разработанных вероятностных моделей и верификации параллельных алгоритмов.

Наиболее значительные работы из числа рецензируемых научных изданий приведены ниже.

1. Marchenko M.A. Calculation optimization in the solution of diffusion problem // Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling. 2001. Vol. 16, № 6. P. 483-496.

В статье представлены эффективные алгоритмы численного статистического моделирования, созданные на основе методов расщепления и весового моделирования по ценности для прецизионной оценки вероятности недостижения границы области траекториями диффузионного процесса за определенное время. Все результаты, изложенные в работе, получены лично соискателем. Объем публикации - 0,88 печатных листа.

2. Marchenko M.A., Mikhailov G.A. Parallel realization of statistical simulation and random number generators // Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling. 2002. Vol. 17, № 1. P. 113-124.

В статье представлены длиннопериодные параллельные генераторы псевдослучайных чисел, результаты их тестирования с использованием высокопроизводительных вычислений. **Авторский вклад** заключается в разработке и исследовании параллельной модификации генератора псевдослучайных чисел, его тестировании с использованием высокопроизводительных вычислительных систем. Автору принадлежит 50% или 0,38 печатных листа из общего объема статьи.

3. Марченко М.А., Михайлов Г.А. Весовые алгоритмы статистического моделирования диффузионных процессов // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2003. Т. 43, № 4. С. 571-584.

В статье предложены эффективные весовые алгоритмы для прецизионной оценки вероятности недостижения границы области траекториями диффузионного процесса за определенное время и полной концентрации траекторий диффузионного процесса в точке за определенное время. Также представлены параллельные генераторы псевдослучайных чисел, методика распределенных вычислений, результаты тестирования параллельного генератора. **Авторский вклад** заключается в разработке и исследовании весовых алгоритмов, и параллельной модификации генератора псевдослучайных чисел, проведении вычислительных экспериментов с использованием высокопроизводительных вычислительных систем. Автору принадлежит 50% или 0,44 печатных листа из общего объема статьи.

4. Марченко М.А., Михайлов Г.А. Распределённые вычисления по методу Монте-Карло // Автоматика и телемеханика. 2007. № 5. С. 157–170.

В работе предложена методика распределенных вычислений по методу Монте-Карло с использованием нового параллельного генератора псевдослучайных чисел; представлены данные вычислительных экспериментов. **Авторский вклад** заключается в разработке методики распределённых вычислений по методу Монте-Карло и параллельных генераторов псевдослучайных чисел, проведении вычислительных

экспериментов с целью верификации разработанных алгоритмов. Автору принадлежит 50%, или 0,44 печатных листа из общего объема статьи.

5. Marchenko M.A. A study of a parallel statistical modelling algorithm for solution of the nonlinear coagulation equation // *Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling*. 2008. Vol. 23, № 6. P. 597-613.

В работе представлены вероятностная модель для численного моделирования процесса пространственно неоднородной коагуляции, основанная на применении пространственной регуляризации ядра коагуляции и метода «мажорантной частоты», а также реализующий её параллельный алгоритм; представлены результаты теоретического исследования масштабируемости параллельного алгоритма. Все результаты, изложенные в статье, получены лично соискателем. Объем публикации - 1,25 печатных листа.

6. Marchenko M.A. PARMONC - A Software Library for Massively Parallel Stochastic Simulation // *Lecture Notes in Computer Science*. 2011. Vol. 6873. P. 302-315.

В работе представлена универсальная библиотека PARMONC для реализации распределённого численного статистического моделирования на высокопроизводительных вычислительных системах. Все результаты, изложенные в статье, получены лично соискателем. Объем публикации - 0,88 печатных листа.

7. Глинский Б.М., Родионов А.С., Марченко М.А., Подкорытов Д.И., Винс Д.В. Агентно-ориентированный подход к имитационному моделированию суперЭВМ экзафлопсной производительности в приложении к распределённому статистическому моделированию // *Вестник ЮУрГУ, серия «Математическое моделирование и программирование»*. 2012. Т. 12, № 18 (277). С. 94–99.

В статье предложен новый агентно-ориентированный подход к имитационному моделированию суперЭВМ экзафлопсной

производительности с использованием библиотеки AGNES в приложении к задачам распределённого численного статистического моделирования. **Авторский вклад** заключается в разработке и исследовании алгоритмов распределённого численного статистического моделирования и их реализации на высокопроизводительных вычислительных системах, построении агентно-ориентированных моделей параллельных программ численного статистического моделирования, проведении необходимых вычислительных экспериментов с целью валидации имитационных моделей. Автору принадлежит 30% или 0,11 печатных листа из общего объема статьи.

8. Марченко М.А. Эффективное использование многоядерных сопроцессоров при суперкомпьютерном статистическом моделировании электронных лавин // Вестник Южно-Уральского государственного университета, сер.: «Вычислительная математика и информатика». 2013. Т. 2, № 4. С. 80-93.

В работе представлены вероятностная модель для численного моделирования процесса развития электронных лавин в газе, основанная на использовании ветвящихся процессов, и реализующий её параллельный алгоритм; приведены результаты исследования эффективности параллельного алгоритма на гибридных вычислительных системах. Все результаты, изложенные в статье, получены лично соискателем. Объем публикации - 0,88 печатных листа.

9. Lotova G.Z., Marchenko M.A., Mikhailov G.A., Rogazinskii S.V., Ukhinov S.V., Shklyayev V.A. Numerical statistical modelling algorithms for electron avalanches in gases // Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling. 2014. Vol. 29, № 4. P. 251-263.

В работе представлены подробное описание вероятностной модели для численного моделирования процесса развития электронных лавин в газе и методика эффективной оценки функционалов; предложен реализующий модель параллельный алгоритм для массивно-параллельных вычислительных

систем. **Авторский вклад** заключается в разработке вероятностной модели электронных лавин, в построении и обосновании параллельных алгоритмов численного статистического моделирования. В частности, вклад соискателя был определяющим при реализации параллельных алгоритмов и их верификации на высокопроизводительных вычислительных системах. Автору принадлежит 20% или 0,21 печатных листа из общего объема статьи.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы. Всего поступило 16 отзывов, все они положительные.

В отзывах отмечается актуальность проблематики диссертационного исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов. Подчеркивается, что в диссертации предложен системный подход к решению крупной научной проблемы: разработки методов численного статистического моделирования кинетических процессов диффузии, коагуляции и переноса заряженных частиц с использованием распределенных вычислений, что имеет прорывное значение на пути развития современных численных методов математического моделирования. Отмечается также, что в настоящее время только начинают ставиться вопросы разработки экономичных численных методов для решения нелинейного уравнения коагуляции с учетом внешнего поля скоростей, зависящего от пространственной переменной и размера (массы) частиц, и пространственно-неоднородного ядра коагуляции; достижением автора является предложенный им способ регуляризации ядра коагуляции с целью замены взаимодействия частиц в точке их взаимодействия в малой области. Указывается, что созданные на основе разработанных алгоритмов библиотеки и пакеты программ могут быть использованы для практической реализации вероятностных моделей.

Авторы отзывов приходят к выводу, что соискателем в полной мере разрешена непростая проблема триединства вкладов в создание математических моделей, разработку численных методов и реализующих их

программных средств, которая заложена в паспорте специальности 05.13.18. Сделано заключение, что диссертационная работа выполнена на высоком профессиональном уровне, удовлетворяет требованиям к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, соответствует специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Отзывы, не содержащие критических замечаний, представили:

1) Ковальчук Борис Михайлович, академик РАН, доктор технических наук, заведующий отделом импульсной техники, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук, г. Томск;

2) Ребров Алексей Кузьмич, академик РАН, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник и Плотников Михаил Юрьевич, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск;

3) Григорьев Юрий Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт вычислительных технологий Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск;

4) Крупчатников Владимир Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий отделом вычислительных и информационных технологий в гидрометеорологии, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Сибирский региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт», г. Новосибирск;

5) Лаврентьев Михаил Михайлович, доктор физико-математических наук, профессор, декан факультета информационных технологий, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение

высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет», г. Новосибирск;

6) Малышкин Геннадий Нифодиевич, кандидат физико-математических наук, заведующий отделом, Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики имени академика Е.И. Забабахина», г. Снежинск;

7) Морозов Владимир Николаевич, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник, отдел геофизического мониторинга исследований, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова», г. Санкт-Петербург;

8) Постовалов Сергей Николаевич, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры теоретической и прикладной информатики, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», г. Новосибирск;

9) Топчий Валерий Алексеевич, доктор физико-математических наук, профессор, директор, Омский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института математики им. С. Л. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук, г. Омск;

10) Учайкин Владимир Васильевич, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической физики, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный университет», г. Ульяновск.

Отзывы на автореферат, содержащие критические замечания.

1. Отзыв на автореферат, подписанный Алоян Арташем Еремовичем, доктором физико-математических наук, доцентом, ведущим научным сотрудником Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Института вычислительной математики Российской академии наук, г. Москва.

Отзыв содержит замечание:

- 1) В качестве замечания укажем, что, по-видимому, имело бы смысл сопоставить результаты численных экспериментов решения уравнения коагуляции с аналитическими решениями для простых ядер, для которых имеются аналитическое решение.

2. Отзыв на автореферат, подписанный Бериковым Владимиром Борисовичем, доктором технических наук, доцентом, ведущим научным сотрудником Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института математики им. С.Л. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск. Отзыв содержит замечания:

- 1) Хотелось бы видеть более подробные комментарии к результатам численного исследования трудоемкости методов, представленным на рис. 1. Неясно, например, почему трудоемкость весовой оценки слабо меняется при увеличении шага сетки, в отличие от других оценок. На рис. 1б отсутствуют подписи значений по горизонтальной оси.
- 2) При описании результатов тестирования параллельного генератора псевдослучайных чисел (стр.21) не указан уровень значимости критерия хи-квадрат.

3. Отзыв на автореферат, подписанный Галкиным Валерием Алексеевичем, доктором физико-математических наук, профессором, директором Политехнического института Бюджетного учреждения высшего образования Ханты-Мансийского автономного округа-Югры «Сургутский государственный университет», г. Сургут. Отзыв содержит замечание:

- 1) В качестве замечания отмечу отсутствие сравнительного анализа полученных результатов численного моделирования пространственно-неоднородной коагуляции с расчетами,

основанными на иных принципах моделирования коагулирующих систем.

4. Отзыв на автореферат, подписанный Ермаковым Сергеем Михайловичем, доктором физико-математических наук, профессором, заведующим кафедрой статистического моделирования математико-механического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», г. Санкт-Петербург. Отзыв содержит замечание:

- 1) Я отмечу, что автор не использует и не упоминает многоуровневый метод для решения стохастических дифференциальных уравнений и столкновительные процессы, являющиеся мощным средством при оценивании малых вероятностей в задачах с квадратичной нелинейностью. Видимо, научный консультант не использует эти методы.

5. Отзыв на автореферат, подписанный Жуковским Михаилом Евгеньевичем, доктором физико-математических наук, ведущим научным сотрудником Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук», г. Москва. Отзыв содержит замечания:

- 1) Изложенная на стр. 18 модель электронных лавин в газе представляется неоправданно "бедной". В частности, это касается процесса ионизации атомов азота;
- 2) Тестовые расчеты с использованием программы ELSHOW проводились на кластере МВС-10П в МСЦ РАН (<http://rscgroup.ru>), а верификация модели (стр. 19 автореферата) осуществлялась на кластере НКС-30Т в ЦКП ССКЦ СО РАН (<http://www2.sccc.ru/НКС-30Т/НКС-30Т.htm>). Указанные кластеры имеют различную вычислительную архитектуру (в частности, МВС-10П использует в

качестве арифметических сопроцессоров Intel Xeon Phi, в то время как НКС-30Т имеет в этом качестве графическую подсистему). В автореферате не указано, как было реализовано выполнение одной и той же программы на вычислительных кластерах с различной архитектурой;

- 3) Наконец, в тексте автореферата допущено некоторое количество грамматических ошибок и опечаток (стр. 3, 4, 19, 24. . .).

6. Отзыв на автореферат, подписанный Куперштохом Александром Леонидовичем, доктором физико-математических наук, доцентом, заведующим лаборатория физики взрыва Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск. Отзыв содержит замечания:

- 1) На каждом шаге по времени разыгрывается столкновение электрона, используя полное микроскопическое сечение взаимодействий, а потом – тип столкновения с сечениями упругого рассеяния, возбуждения и ионизации. Более правильно было бы разыгрывать столкновения сразу с учетом вероятностей отдельных типов взаимодействия, которые исключают друг друга.
- 2) В список публикаций по докторским диссертациям не солидно включать отчеты по РФФИ [34, 35, 36] и тезисы конференций [51].
- 3) Не упоминается возможность использования гибридных суперкомпьютеров на базе графических ускорителей NVIDIA.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается широкой известностью их достижений в области численного статистического моделирования кинетических процессов, математического моделирования, параллельных вычислений, разработки программного

обеспечения, наличием у них публикаций по соответствующим направлениям и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- **разработаны** и исследованы **новая** вероятностная модель для численного моделирования пространственно неоднородной коагуляции, основанная на применении пространственной регуляризации ядра коагуляции и методе мажорантной частоты, и реализующий ее новый параллельный алгоритм;
- **разработаны** и исследованы **новая** вероятностная модель для численного моделирования электронных лавин в газе, основанная на использовании ветвящихся процессов, и реализующий ее новый параллельный алгоритм;
- **разработаны** и исследованы **новые** эффективные алгоритмы распределенного численного статистического моделирования, основанные на методах расщепления и весового моделирования, для прецизионной оценки функционалов, определяемых маловероятными событиями, на траекториях диффузионных процессов, таких как вероятность недостижения границы области траекториями за определенное время и полная концентрация траекторий в точке за определенное время;
- **разработаны** **новые** универсальные библиотеки распределенного численного статистического моделирования для высокопроизводительных вычислительных систем и параллельные прикладные программы для решения задач диффузии, коагуляции, переноса заряженных частиц и численного анализа стохастических осцилляторов;

- **предложены** и исследованы **новые** длиннопериодные параллельные генераторы псевдослучайных чисел и методика распределенного численного статистического моделирования для высокопроизводительных вычислительных систем, **новая** имитационная модель исполнения программ распределенного численного статистического моделирования с целью получения оценок их масштабируемости на большое число процессоров;
- **доказана** перспективность использования разработанных вероятностных моделей кинетических процессов, реализующих их параллельных алгоритмов и программ в практических расчетах;
- **введены новые** теоретические методы исследования эффективности параллельных алгоритмов статистического моделирования и новые методы оценки масштабируемости соответствующих вычислительных программ.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- **доказаны** утверждения о величине трудоемкости разработанных параллельных алгоритмов, реализующих новые вероятностные модели кинетических процессов диффузии, коагуляции и переноса заряженных частиц;
- **применительно к проблематике диссертации результативно использованы** предложенные автором методики распараллеливания, а также созданные библиотеки и пакеты программ, что **позволило получить новые результаты** численного статистического моделирования изучаемых кинетических процессов;
- **изложены** новые принципы исследования эффективности параллельных алгоритмов численного статистического моделирования;
- **раскрыт** практический потенциал новой имитационной модели исполнения программ распределенного численного статистического

моделирования, с помощью которой изучена оценка масштабируемости алгоритмов, реализуемых на современных вычислительных системах;

- **изучены** внутренние связи различных подходов к построению параллельных алгоритмов численного статистического моделирования кинетических процессов на основе предложенной методики распределенного численного статистического моделирования;
- **проведена модернизация** ранее разработанных вероятностных моделей процесса развития электронных лавин в газе, что обеспечило получение новых результатов по этой теме.

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

- **разработана и внедрена** библиотека программ PARMONC для распределённых вычислений по методу Монте-Карло, а именно, для нее получены два **акта о внедрении** научных и практических результатов диссертации (библиотека **внедрена** на кластере НКС-30Т Центра коллективного пользования «Сибирский суперкомпьютерный центр» СО РАН; использовалась в ходе выполнения научно-исследовательских работ по государственному контракту № 2011-1.4-514-026-006);
- **определены** пределы и перспективы практического использования разработанных параллельных алгоритмов, реализующих новые вероятностные модели кинетических процессов диффузии, коагуляции и переноса заряженных частиц;
- **создана** методика распределенного численного статистического моделирования на современных высокопроизводительных вычислительных системах;
- **представлены** практические и методические рекомендации, инструкции и документация по использованию разработанных пакетов прикладных программ и универсальных программных библиотек.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:

- **для экспериментальных работ** показана воспроизводимость численных результатов на вычислительных системах с различными архитектурами, в частности, при использовании различных базовых генераторов псевдослучайных чисел;
- **теория** разработанных вероятностных моделей диффузии, коагуляции, переноса заряженных частиц основана на известных подходах к построению вычислительных методов статистического моделирования, в которых используются уравнение Колмогорова, учитывающее эволюцию ансамбля частиц; ветвящиеся процессы; теория интегральных уравнений второго рода; методы расщепления и весового моделирования с использованием приближения к функции ценности; различные методики распараллеливания; конгруэнтные генераторы псевдослучайных чисел;
- **использованы** известные из литературы численные и экспериментальные данные для проведения сравнения с результатами моделирования с помощью разработанных вероятностных моделей и алгоритмов;
- **идея** разработанных вероятностных моделей **базируется** на обобщении передового опыта их разработки с использованием алгоритмов моделирования эволюции многочастичных ансамблей взаимодействующих стохастических частиц;
- **использованы** современные методики сбора и обработки исходной информации для проведения моделирования кинетических процессов, а также анализа данных с результатами расчетов;
- **установлено** количественное совпадение результатов моделирования с известными из литературы численными и экспериментальными данными.

Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на семинарах кафедры статистического моделирования математико-механического факультета Санкт-Петербургского государственного университета (г. Санкт-Петербург); кафедры высокопроизводительных вычислений факультета информационных технологий и программирования Университета информационных технологий, механики и оптики (г. Санкт-Петербург); кафедры теоретической и прикладной информатики факультета прикладной математики и информатики Новосибирского государственного технического университета (г. Новосибирск); «Математическое моделирование в механике» в Институте теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН (г. Новосибирск); «Информационно-вычислительные технологии» в Институте вычислительных технологий СО РАН; семинаре по динамике разреженных газов в Институте теплофизики им С.С. Кутателадзе СО РАН (г. Новосибирск); «Методы Монте-Карло в вычислительной математике и математической физике», «Высокопроизводительные вычисления», «Математическое обеспечение высокопроизводительных вычислительных систем», «Численный анализ» в Институте вычислительной математики и математической геофизики СО РАН (г. Новосибирск).

Результаты докладывались также на всероссийских и международных конференциях: «Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики» (2014, 2015); International Workshop on Simulation (2001-2015); «Научный сервис в сети Интернет» (2011, 2012); «Параллельные вычислительные технологии» (2012, 2013); International Symposium on Rarefied Gas Dynamics (2014) и других научных семинарах и мероприятиях.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в получении основных результатов диссертации, которое заключается:

- в построении, обосновании и валидации вероятностных моделей для численного моделирования кинетических процессов диффузии, коагуляции и переноса заряженных частиц, а также верификации реализующих их экономичных параллельных алгоритмов численного статистического моделирования;
- в создании и исследовании параллельных генераторов псевдослучайных чисел и методики распределенного численного статистического моделирования на высокопроизводительных вычислительных системах с реализацией возможности параметрического анализа вероятностных моделей;
- в формировании имитационной модели исполнения параллельных программ статистического моделирования на многопроцессорных вычислительных системах и получении с ее помощью оценок масштабируемости конкретных программ;
- в разработке универсальных библиотек численного статистического моделирования и пакетов прикладных программ;
- анализе и оценке результатов вычислительных экспериментов;
- подготовке основных публикаций по выполненным работам.

У автора отсутствует конфликт интересов с соавторами по публикациям и свидетельствам о государственной регистрации программы для ЭВМ.

На заседании 28 февраля 2017 года диссертационный совет принял решение присудить Марченко М.А. ученую степень доктора физико-математических наук по специальности 05.13.18.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 23 человек, из них 16 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 23, против 0, недействительных бюллетеней 0 .

Председатель

диссертационного совета Д 003.061.02

доктор физико-математических наук,

член-корреспондент РАН, профессор

Кабанихин С.И.

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 003.061.02

доктор физико-математических наук,

доцент

Сорокин С.Б.



28 февраля 2017 года