

## ОТЗЫВ

официального оппонента  
на диссертационную работу

Марченко Михаила Александровича

«Численное статистическое моделирование кинетических процессов диффузии, коагуляции и переноса заряженных частиц с использованием распределённых вычислений», представленную на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

**Актуальность темы исследований.** Диссертационная работа Марченко М.А. посвящена развитию актуального научного направления – параллельным методам численного статистического моделирования при исследовании кинетических процессов диффузии, коагуляции и переноса заряженных частиц, а также диффузионных процессов, описывающих стохастические осцилляторы. Важное практическое значение имеет задача разработки методики распределённого численного статистического моделирования для высокопроизводительных вычислительных систем и параллельных генераторов псевдослучайных чисел, пригодных для проведения параметрического анализа.

Достигнутый уровень производительности современных суперкомпьютеров делает применение вероятностных моделей кинетических процессов чрезвычайно актуальным. Здесь, с одной стороны, указанные модели адекватно описывают физические явления, в частности, позволяют учесть влияние маловероятных событий, что практически невозможно для других подходов; с другой стороны, модели могут быть эффективно реализованы в виде параллельных программ.

Весьма актуальны также вопросы создания пакетов программ для решения поставленных задач и стандартных библиотек для реализации распределённого численного статистического моделирования.

**Научная новизна.** В диссертации развито новое научное направление - параллельное статистическое моделирование кинетических процессов на современных высокопроизводительных вычислительных системах.

В работе разработаны и исследованы новые параллельные алгоритмы и программные средства суперкомпьютерного статистического моделирования кинетических процессов диффузии, коагуляции и переноса заряженных частиц, а именно:

- алгоритмы численного статистического моделирования на основе метода расщепления и весового моделирования с использованием приближения к функции ценности для прецизионной оценки функционалов, определяемых маловероятными событиями, на траекториях диффузионных процессов;

- вероятностная модель для численного моделирования процесса пространственно неоднородной коагуляции, основанная на пространственной регуляризации ядра коагуляции и методе мажорантной частоты, и реализующий ее экономичный параллельный алгоритм;
- вероятностная модель для численного моделирования процесса развития электронных лавин в газе на основе ветвящихся случайных процессов и реализующий ее параллельный алгоритм для вычислительных систем с массивно-параллельной и гибридной архитектурами;
- распределительный способ получения базовых псевдослучайных чисел и методика распределенного численного статистического моделирования для высокопроизводительных вычислительных систем, обеспечивающие возможность проведения коррелированных расчетов и параметрического анализа реализуемых вероятностных моделей;
- имитационная модель исполнения программ распределенного численного статистического моделирования на многопроцессорных вычислительных системах с учетом их архитектуры;
- универсальные библиотеки PARMONC, PARMONC-PC и MONC для реализации распределенного численного статистического моделирования на высокопроизводительных вычислительных системах, а также программный комплекс параллельных генераторов PARGENER-MC;
- пакет параллельных прикладных программ BOUNDARY-MC, COAGULATION-MC, CONCENTRATION-MC, ELSHOW и AMIKS для решения задач диффузии, коагуляции, переноса заряженных частиц и численного анализа стохастических осцилляторов.

**Содержание диссертации.** Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы и трех приложений. Общий объем диссертации – 281 страница. Список литературы включает 312 наименований на 31 странице. Диссертация содержит 36 рисунков, 27 таблиц.

Во введении представлены цели, задачи, актуальность и методология исследования. Отражен личный вклад автора в совместные публикации.

В главе 1 делается обзор методов численного статистического моделирования кинетических процессов, параллельных и распределенных вычислений.

В главе 2 представлены результаты, касающиеся разработки численных методов прецизионной оценки функционалов, определяемых маловероятными событиями, на траекториях диффузионных процессов, таких как вероятность недостижения границы области за заданное время и полная концентрация траекторий в точке за заданное время.

В главе 3 представлены результаты по разработке и исследованию вероятностной модели для численного моделирования процесса пространственно неоднородной коагуляции и реализующего ее

экономичного параллельного алгоритма метода прямого статистического моделирования.

В главе 4 приводятся результаты, касающиеся разработки и исследования вероятностной модели для численного моделирования процесса развития электронных лавин в газе и реализующего ее параллельного алгоритма численного статистического моделирования.

В главе 5 описывается распределительный способ получения псевдослучайных чисел для базового длиннопериодного конгруэнтного генератора, приводятся результаты его тестирования. Представлена методика распределенного численного статистического моделирования, пригодная для реализации на многопроцессорных высокопроизводительных вычислительных системах.

В главе 6 представлены универсальные библиотеки программ PARMONC, PARMONC-PC и MONC для реализации распределенного статистического моделирования на многопроцессорных высокопроизводительных вычислительных системах (грид-системах и кластерах с массивно-параллельной и гибридной архитектурами); параллельная программа AMIKS для численного анализа стохастических осцилляторов.

В Заключении формулируются положения, выносимые на защиту, предлагаются направления дальнейших исследований по материалам и результатам диссертации.

В Приложении 1 приводится описание разработанных параллельных вычислительных программ и библиотек. В Приложении 2 дается описание полученных свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ. В Приложении 3 приводятся копии актов о внедрении научных и практических результатов диссертации, диплома лауреата конкурса прикладных разработок и исследований в области компьютерных технологий.

Список литературы содержит монографии и статьи, существенно относящиеся к теме исследования, и содержащие необходимые теоретические результаты, методологические подходы и примеры содержательных задач, близких к тематике диссертации. Список литературы достаточно полно характеризует выбранное автором научное направление.

Текст диссертации написан грамотным научным языком и сопровождается качественным иллюстративным материалом.

Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации.

**Обоснованность и достоверность** полученных в диссертации результатов подтверждается корректными ссылками на необходимые математические утверждения, известные методы и алгоритмы, доказательствами собственных утверждений, выводом оценок погрешностей,

а также многочисленными результатами вычислительных экспериментов на ЭВМ в рамках тестовых и содержательных примеров.

Результаты работы достаточно полно отражены в 63 научных публикациях, в том числе в 19 статьях, опубликованных в журналах, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России. Автором также получено 9 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ.

### **Научная и практическая ценность полученных результатов.**

1. Разработанные вероятностные модели и параллельные алгоритмы могут служить теоретической базой при решении практических задач диффузии, коагуляции и переноса заряженных частиц; созданные библиотеки и программы также могут быть использованы в этих целях.

2. Предложенная имитационная модель исполнения программ распределённого численного статистического моделирования может применяться для оценки масштабируемости прикладных программ и настройки необходимых параметров параллельных расчётов на современных вычислительных системах.

3. У автора имеются акты о внедрении научных и практических результатов диссертации, в частности, библиотека PARMONC внедрена в Центре коллективного пользования «Сибирский суперкомпьютерный центр» СО РАН.

### **Замечания по диссертационной работе.**

1. Стр. 29, 264. Опечатка в ссылке на работу [132] – неверное название журнала.
2. Стр. 44. Фраза из текста: «распределение  $y^{*(i-1)}$  слабо зависит от  $i$ ». Не очень ясен смысл этой фразы и непонятно, где в дальнейшем используется указанное свойство.
3. Стр. 56. Фраза из текста: «попадание траектории диффузионного процесса в заданную точку». Следовало бы писать «попадание траектории диффузионного процесса в шар малого радиуса с центром в заданной точке».
4. Стр. 70-72. При описании алгоритма моделирования процесса коагуляции частиц ничего не сказано о возможном изменении шага ( $\Delta t$ ) и сопоставлении результатов моделирования при различных значениях ( $\Delta t$ ).
5. Стр. 77, 102 и др. В ряде формул используется символ « $\approx$ ». Смысл этого символа следовало бы уточнить с точки зрения эквивалентности используемых величин при  $N \rightarrow \infty$  или  $(\Delta t) \rightarrow 0$ .

Приведенные замечания касаются изложения материала и не влияют на содержание текста работы и общую положительную оценку диссертации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Автор диссертации – М.А. Марченко продемонстрировал высокую научную квалификацию и внес значительный вклад в методы, алгоритмы и программы для ЭВМ, посвященные математическому моделированию кинетических процессов в практически важных приложениях. Основные научные результаты опубликованы в профильных научных изданиях и доложены на многочисленных профильных научных конференциях и семинарах. Диссертация содержит научно обоснованные алгоритмические и программные решения, внедренные в работу Центра коллективного пользования «Сибирский суперкомпьютерный центр» СО РАН.

Диссертационная работа М.А. Марченко полностью соответствует формуле специальности 05.13.18 – «математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» по отрасли «физико-математические науки» и пунктам 1, 3, 4 областей исследований. Диссертация обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе автора в науку. Диссертация имеет научную и практическую значимость, в ней содержатся рекомендации по практическому использованию научных выводов.

Опираясь на вышеизложенное, считаю, что представленная диссертация является законченной научно-квалификационной работой. В этой диссертации разработаны теоретические положения, вычислительные алгоритмы и библиотеки программ, совокупность которых можно квалифицировать как крупное научное достижение, а ее автор – Марченко Михаил Александрович – заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Официальный оппонент

  
\_\_\_\_\_

Перцев Николай Викторович

«18» 07. 2017 г.

Главный научный сотрудник,  
лаборатория теоретико-вероятностных методов,  
Омский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения  
науки Института математики им. С.Л. Соболева  
Сибирского отделения Российской академии наук,  
644043, г. Омск, ул. Певцова, 13,  
тел. +7 (3812) 97-22-51,

эл. почта: [pertsevnv@mail.ru](mailto:pertsevnv@mail.ru)

доктор-физико-математических наук, профессор

05.13.16 - применение вычислительной техники, математического

моделирования и математических методов в научных исследованиях

*05.13.18 - математическое моделирование, численные методы  
и комплексные программы*

Омский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения

науки Института математики им. С.Л. Соболева

Сибирского отделения Российской академии наук,

644043, г. Омск, ул. Певцова, 13,

тел.: +7 (3812) 23-65-67, факс: +7 (3812) 23-45-84,

эл. почта: [admin@ofim.oscsbras.ru](mailto:admin@ofim.oscsbras.ru),

<http://ofim.oscsbras.ru>

Подпись Перцева Николая Викторовича удостоверяю:

Ученый секретарь

Омского филиала Федерального государственного

бюджетного учреждения науки

Института математики им. С.Л. Соболева

Сибирского отделения Российской академии наук

*Валентина Александровна*

Планкова Валентина Александровна

«18» 01. 2017 г.

