

УТВЕРЖДАЮ

Проректор НГТУ по научной работе
д.т.н., профессор



Вострецов А.Г.

ОТЗЫВ

ведущей организации – ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет» на диссертационную работу Амбоса Андрея Юрьевича «Разработка вычислительных моделей мозаичных случайных сред с применением в теории переноса излучения», представленную на соискание ученой степени ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.01.07 – вычислительная математика

Результаты диссертационной работы Амбоса Андрея Юрьевича были обсуждены ведущими специалистами кафедры теоретической и прикладной информатики и центра статистических технологий НГТУ. По результатам обсуждения диссертационной работы Амбоса Андрея Юрьевича принято следующее заключение.

1. Актуальность темы исследований

В основе математических моделей широкого круга задач из области естествознания и технических приложений лежат случайные процессы.

При решении такого рода задач невозможно обойтись без использования методов численного статистического моделирования, что оказывается, как правило, весьма трудоёмким, но в то же время позволяет эффективно распределять вычисления на многопроцессорных ЭВМ.

Одним из достоинств использования методов Монте–Карло является возможность в процессе моделирования исследовать вероятностные (статистические) закономерности, связанные с решаемой задачей, делая эту задачу в определённой степени более детерминированной. Нечто подобное реализуется и в данной диссертации, где на примере массовых радиационных исследований показана целесообразность и эффективность “осреднения” радиационной модели и перехода к детерминированным параметрам модели с приближённым сохранением изучаемых осреднённых функционалов.

Несомненно, тематику исследований, связанную с разработкой вычислительных моделей мозаичных случайных сред с приложением к задачам теории переноса излучения, следует признать актуальной и соответствующей специальности 01.01.07 – вычислительная математика.

2. Научная новизна исследований и полученных результатов

Результаты, полученные в диссертационной работе, являются новыми, опубликованы в 5 работах автора в журналах из списка, рекомендованного ВАК.

Диссертация общим объемом 83 страницы включает введение, 3 главы основного содержания, заключение, список использованных источников из 35 наименований.

Первая глава диссертации посвящена построению и исследованию однородных изотропных мозаичных случайных полей различных типов.

Рассматриваются две вычислительные “мозаичные” модели однородных изотропных случайных полей $\sigma(r)$, $r \in \mathbf{R}^k$. Мозаичные модели строятся на основе некоторого разбиения пространства на ячейки со случайным выбором в каждой из них постоянного значения поля в соответствии с некоторым распределением (независимо от остальных ячеек) со средним значением $E[\sigma]$ и дисперсией $D[\sigma]$. В качестве основной модели рассматривается мозаичное поле Пуассона $\sigma(r; \mathcal{P})$, базирующееся на пуассоновском ансамбле гиперплоскостей. В качестве вспомогательной модели – мозаичное поле Вороного $\sigma(r; \mathcal{V})$, основанное на пуассоновском точечном потоке в \mathbf{R}^k .

В пункте 1.1 строится и исследуется ансамбль базовых гиперплоскостей, на основе которого строится мозаичное поле Пуассона $\sigma(r; \mathcal{P})$, обосновывается его однородность и изотропность. Доказывается лемма о том, что построенное случайное поле гиперплоскостей однородно и изотропно, то есть инвариантно относительно сдвигов, поворотов и отражений.

В пункте 1.2 исследуется поток пересечений заданной прямой с заданными гиперплоскостями. Доказанной леммой определяется мера, которую имеет в параметрическом пространстве множество гиперплоскостей, пересекающих заданный отрезок. На основе этой меры строится новый рекуррентный алгоритм моделирования k -мерного единичного изотропного вектора.

В пункте 1.3 рассматривается построение кусочно-постоянной случайной функции с экспоненциальной корреляцией, определяется мозаичное поле Пуассона и показывается, что оно является однородным и изотропным с экспоненциальной корреляцией.

В пункте 1.4 в качестве альтернативы полю Пуассона рассмотрено мозаичное поле Вороного и указаны некоторые его фактически известные свойства.

В пункте 1.5 построены реалистические модели разорванных неотрицательных случайных полей с приближённо гауссовскими одномерными распределениями (гамма-, бета-распределениями, степенным распределением) и заданной степенью заполненности пространства путём суммирования независимых реализаций базовых специально сконструированных ограниченных мозаичных пуассоновских полей и изучены некоторые их свойства.

Во второй главе диссертации рассматриваются вопросы, связанные с переносом излучения через стохастическую среду. Показывается, что построенные в первой главе мозаичные случайные поля можно использовать для решения методом Монте-Карло задач радиационного баланса в стохастических средах с полным коэффициентом ослабления излучения.

В пункте 2.1 рассматривается моделирование траекторий квантов, строящихся в геометрически сложных реализациях среды. Используется “метод мак-

симального сечения”, в котором для определения случайной плотности среды идентифицируется элемент разбиения, в котором происходит столкновение частицы. Разрабатываются специальные алгоритмы моделирования мозаичных случайных полей и соответствующие алгоритмы идентификации. Показано, что трудоёмкость алгоритма идентификации точки столкновения для мозаичного поля Вороного возрастает быстрее, чем для поля Пуассона. Указаны способы моделирования траекторий в случайной среде и нахождения оценок соответствующих функционалов.

В пункте 2.2 разработаны новые геометрические алгоритмы “метода максимального сечения” для моделирования траекторий частицы в мозаичных случайных средах, в частности, для мозаичных полей Вороного и Пуассона.

В пункте 2.3 рассматривается односкоростной процесс переноса частиц через плоский слой вещества, рассматривается вероятность прохождения частицы через слой, оценивается средняя (по распределению поля) вероятность прохождения через указанный слой. Построены формулы для коэффициентов рассеяния и поглощения эффективно осреднённых радиационных моделей.

В пункте 2.4 проведено исследование поля проходящей радиации: построена оценка параметра экспоненциальной асимптотической (по площади протяжённого нормированного детектора) формулы для соответствующей корреляционной функции; построены статистические оценки коэффициентов экспоненциальной (асимптотической по толщине слоя) формулы для осреднённой вероятности прохождения частицы.

В пункте 2.5 найдены некоторые предельные соотношения для мозаичных случайных полей, связанные с уменьшением корреляционного радиуса. Для мозаичных случайных сред доказана теорема о предельных значениях функционалов в зависимости от решения интегрального уравнения переноса (при уменьшении корреляционной длины до нулевого значения).

Третья глава диссертации посвящена вычислительным экспериментам, связанным с моделированием полей, с оценкой на базе экспериментов вероятностных характеристик, с верификацией результатов моделирования. В преамбуле приводится перечень вычислительных экспериментов, их характер и назначение.

В пункте 3.1 для двух вариантов мозаичного поля Пуассона и двух вариантов источников частиц оценена вероятность прохождения, осреднённая по поверхности источника, и её дисперсия.

В пункте 3.2 вычислены параметры осреднённых радиационных моделей для различных вариантов мозаичного поля Пуассона и соответствующие значения осреднённой вероятности прохождения; проведено их сравнение с “точными” значениями. Показано, что полученные результаты с помощью дополнительных расчётов можно распространить на реалистические модели случайных сред.

В пункте 3.3 приводятся оценки дисперсии показания протяжённого нормированного детектора и вычислен параметр экспоненциальной оценки корреляционной функции поля проходящей радиации; на этой основе проверена соответствующая эргодическая гипотеза.

В пункте 3.4 вычислены коэффициенты экспоненциальной (асимптотической по толщине слоя) формулы для осреднённой вероятности прохождения и их среднеквадратических отклонений.

В пункте 3.5 для различных значений r приведены оценки корреляционной функции $K(r; \mathcal{V})$ поля Вороного и точные значения $K(r; \mathcal{P})$ для поля Пуассона. Показано, что они достаточно близки. Исследована зависимость оценки средней вероятности прохождения P_r от корреляционной длины ρ . Исследована трудоёмкость моделирования в зависимости от ρ .

В пункте 3.6 оценена погрешность, связанная с повторным выбором значений $\sigma(r)$ в процессе моделирования траектории частицы в методе двойной рандомизации, которая возникает, если значение σ заново выбирается при повторном попадании траектории кванта в элемент разбиения пространства.

В **заключении** формулируются основные результаты, полученные в работе.

Все основные результаты диссертации опубликованы, апробированы на ряде научных конференций и семинаров, в том числе международных.

Диссертация написана в хорошем математическом стиле, изложение достаточно четкое и грамотное.

Автореферат отражает основное содержание диссертации.

3. Обоснованность и достоверность полученных результатов

Теоретические результаты базируются на применении ряда известных и доказательстве новых теорем. Достоверность полученных соискателем результатов подтверждается строгостью применения математического аппарата при доказательстве утверждений, подтверждением теоретических результатов результатами численного (статистического) моделирования.

Результаты автора, на наш взгляд, не противоречат и согласуются с результатами предшественников, полученными при исследовании и моделировании процессов в случайных средах.

Полученные теоретические результаты подтверждаются результатами вычислительных экспериментов и статистического моделирования.

4. Научная и практическая ценность основных положений диссертации

Научная и практическая ценность диссертации заключается в следующем:

- доказана однородность и изотропность мозаичного поля Пуассона; построен новый рекуррентный алгоритм моделирования n -мерного единичного изотропного вектора; построены новые вычислительные модели разорванных неотрицательных случайных полей с приближённо гауссовскими одномерными распределениями, базирующиеся на суммировании независимых реализаций специально сконструированных ограниченных мозаичных пуассоновских полей;

- доказана теорема о предельных значениях функционалов от решения интегрального уравнения переноса при уменьшении корреляционной длины до нулевого значения;

- для моделирования траекторий частиц в “мозаичных средах” разработаны специальные алгоритмы “метода максимального сечения”, основанного на геометрическом “выравнивании” коэффициента ослабления среды путём дополнения её искусственным “дельта-рассеивателем”;

– построены приближённые выражения для параметров эффективно осреднённой (относительно вероятности прохождения частицы через слой P_t) радиационной модели для пуассоновской модели среды с учётом пуассоновости потока пересечений базовых плоскостей заданным лучом; эти выражения распространены на случай произвольной стохастической модели с теми же первым и вторым моментами закона распределения и степенью заполненности пространства;

– впервые достаточно точно оценены дисперсии флуктуаций вероятности прохождения, связанных с реализациями среды; показано, что такие дисперсии существенно различны для случаев локализованного и распределённого источников.

5. Рекомендации по возможности использования результатов и выводов диссертации

Материалы диссертационной работы могут использоваться при исследовании и решении задач математической физики, в основе которых лежат случайные процессы. К таким задачам можно отнести некоторые проблемы критичности физических процессов с размножением частиц, радиационно-кондуктивного теплопереноса, разреженной газодинамики и диффузии примесей с коагуляцией в стохастических полях скоростей и т.п.

6. Замечания по диссертационной работе

По представленной диссертации Амбоса А.Ю. могут быть сделаны следующие замечания:

1. Имеются похожие обозначения, затрудняющее восприятие текста, например: $F_k(t)$ – функция распределения n_k (в п.1.2); $F_n(r)$ – уравнение гиперплоскости в точке r (в п. 1.3).
2. В соотношениях для числовых характеристик безгранично делимого распределения σ на стр. 28 (для исключения недопонимания) в выражениях для математического ожидания, дисперсии и характеристической функции желательно было вставить нижние индексы, например, $E\sigma_i^{(n)}(\mathbf{r}) = \dots$, $D\sigma_i^{(n)}(\mathbf{r}) = \dots$, $\phi_{\sigma_n}(u) = \phi_{\sigma_i}^n(u)$.
3. На рис. 1.2, по-видимому, представлены не гистограммы условных плотностей $f_\sigma(u|\sigma > 0)$ для полей Σ_1 и Σ_2 , а построенные по ним полигоны.
4. Не очень понятно, каким образом оценивается “реалистичность” построенных полей (например, в п. 1.5) или определяется “практическая удовлетворительность” соотношения (2.5) (стр. 49 со ссылкой на п. 3.2).
5. Присутствуют некоторые погрешности оформления.
 - 5.1. Например, следовало ввести двойную нумерацию таблиц в главе 3, ссылки на которые присутствуют в предшествующих главах.
 - 5.2. Преамбулу в главе 3 можно было выделить отдельным пунктом, озаглавив, например, “Перечень вычислительных экспериментов”.
 - 5.3. В комментариях к таблице 2 в главе 3 по поводу Σ_1 и Σ_2 следовало сослаться на стр. 34 и явно указать, в чём отличие Γ_1 , G_1 от Γ_2 , G_2 .
 - 5.4. Редко, но встречаются стилистические огрехи, связанные с несогласованностью окончаний слов.

Указанные замечания не снижают научной и практической ценности диссертации, носят в основном редакционный характер и не влияют на общую положительную оценку результатов исследований.

7. Заключение о работе

Представленная диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, содержит подходы к решению важной научной задачи, имеющей большую практическую значимость, и выполнена на высоком научном уровне. Представленные в работе исследования обладают научной новизной и достоверностью, все полученные выводы научно обоснованы. Основные положения диссертационной работы достаточно полно освещены в научных публикациях автора.

Вышесказанное позволяет утверждать, что диссертационная работа Амбоса Андрея Юрьевича соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.01.07 – вычислительная математика.

Отзыв заслушан, обсужден и одобрен на заседании кафедры теоретической и прикладной информатики НГТУ (протокол № 6 от 30 августа 2016 г.)

Г.н.с., профессор кафедры
теоретической и прикладной информатики,
д.т.н., профессор



Лемешко Борис Юрьевич

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», 630073, Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20, тел. (383) 346-50-01, rector@nstu.ru, www.nstu.ru

Подпись профессора
Б.Ю. Лемешко заверяю,
начальник ОК НГТУ

Пустовалова Ольга Константиновна