

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА  
о диссертации АРКАШОВА Николая Сергеевича  
«АНАЛИЗ СТРУКТУРНЫХ ДАННЫХ АНОМАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ  
ПЕРЕНОСА», представленной на соискание ученой степени  
доктора физико-математических наук  
по специальности 05.13.17 – Теоретические основы информатики

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Математические конструкции и алгоритмы стохастического (вероятностного) моделирования позволяют адекватно описывать достаточно тонкие и малоизученные процессы и явления. Аналитические подходы позволяют представить основные тренды динамики изучаемых процессов, а вычислительные алгоритмы и соответствующие им компьютерные эксперименты позволяют как протестировать аналитические результаты, так и получить и исследовать новые детали и эффекты. Важной является грамотная статистическая обработка временных рядов с целью анализа адекватности построенных моделей реальным явлениям. Все эти элементы стохастического моделирования в полной мере представлены в рецензируемой работе Н. С. Аркашова в приложении к описанию процессов аномальной диффузии. Эта область знаний является актуальной и малоизученной.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Работа состоит из Введения, шести глав, Заключения и списка литературы.

Введение представляет собой по сути повторение разделов «Актуальность темы» (без обозначения этого названия), «Цель работы», «Методы исследования», «Основные результаты», «Апробация работы», «Публикации», «Личный вклад автора» автореферата (что соответствует новому стилю оформления научных диссертаций; впрочем, этот стиль автору отзыва не слишком по душе). Относительно «оригинальными» (не соответствующими в точности автореферату) во Введении являются разделы «Обзор литературы» и «Структура работы».

В Главе 1 вводится необходимый автору диссертации математический аппарат, связанный с понятием «преобразования самоподобного континуума», связанного с преобразованием сдвига на специально вводимом символьном пространстве. Вводится процесс сдвига  $\{P^n; n \geq 0\}$  и доказывается теорема об эргодичности преобразования  $P$ . Показано, что последовательность  $\{P^n \omega\}$  всюду плотна в специально определяемом самоподобном множестве  $E$ .

В Главе 2 рассматриваются специальные параметризации множеств числовой прямой и последовательности сумм независимых одинаково распределенных случайных величин, описывающих случайное блуждание на этой прямой. Эта конструкция дает геометрическую интерпретацию (модель) аномальных процессов переноса.

В Главе 3 получены специальные оценки сверху и снизу для среднего квадрата расстояния блуждающей точки до начала координат в рассматриваемом процессе аномального процесса переноса. Описываются параметрические модели суб- и супердиффузии на топологических пространствах с самоподобной структурой.

В Главе 4 представлены некоторые обобщения результатов предыдущих глав, основанные, в частности, на введении топологий с использованием «лестницы Кантора в целом» (здесь Теоремы 4.1 и 4.2 являются обобщениями Теорем 3.1 и 3.2, соответственно), а также на рассмотрении стационарных процессов с заданными спектральными (энергетическими) характеристиками вместо сумм одинаково распределенных случайных величин. И здесь, как и ранее, главными характеристиками суб- и супердиффузионных режимов являются оценки для вторых моментов расстояния блуждающей частицы до начала координат. Приводится «энергетическая» интерпретация возникновения упомянутых режимов из процесса классической диффузии.

В Главе 5 рассматривается информационная модель аномального переноса в виде последовательности положений частиц вдоль выбранного направления  $R_n(M) = \sum_{k=0}^n \sum_{i=0}^k X_{k-i} [M(i+1) - M(i)]$  для специально выбираемых неубывающей функции памяти  $M(i)$  и стационарной последовательности  $X_n$ . Обсуждаются «подходящие» (удовлетворяющие нужным условиям) выборы функций и параметров, входящих в данную модель. Рассматриваются, в частности, степенная функция и продолжение лестницы Кантора в качестве функций памяти  $M(i)$ . Приводится вид предельного распределения в терминах дробного броуновского движения. На этой основе формулируется алгоритм вычисления параметров нелокальности, показан один тестовый пример. Объясняется физический смысл параметров нелокальности.

Особый интерес представляет Глава 6, в которой оценивается адекватность модели из Главы 5 на примере обработки практически значимой выборки значений плотности низкочастотной плазмы, полученной на термоядерной установке Токамак-10. Адекватность модели для рассмотренного случая определяется высоким уровнем значимости предложенного в Главе 6 статистического критерия. Предложен и реализован на конкретном примере метод моделирования стационарного шума (Метод 3).

Заключение (как и Введение) представляет собой набор разделов из автореферата: «Научная новизна», «Теоретическая и практическая ценность», «Степень достоверности результатов», «На защиту выносятся».

Список литературы содержит 83 названия (из них 16 – это работы автора диссертации).

### НОВИЗНА ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

В работе Н. С. Аркашова введен оригинальный математический аппарат для описания различных режимов аномальных процессов переноса. Разработанный подход позволил построить новую методику обработки реальных статистических данных, а также построить и реализовать соответствующие численные (компьютерные) алгоритмы.

### СТЕПЕНЬ ОБОСНОВАННОСТИ И ДОСТОВЕРНОСТЬ НАУЧНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ, ВЫВОДОВ И РЕКОМЕНДАЦИЙ, СФОРМУЛИРОВАННЫХ В ДИССЕРТАЦИИ

Требующиеся автору факты из литературы сформулированы верно (с соответствующими ссылками). Для новых лемм, теорем и их следствий приведены корректные доказательства. Объективными и достоверными являются выводы

автора, сформулированные на основании его прикладных статистических исследований и компьютерного моделирования.

### ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ РАБОТЫ

Предложенные автором критерии вносят значимый вклад в соответствующие разделы теории вероятностей, математической статистики и математического моделирования. Особую роль в работе играют новые конструктивные модели аномальных процессов переноса, а также исследования временного ряда плотности плазмы термоядерного реактора Токамак Т-10.

### ЗАМЕЧАНИЯ ПО РАБОТЕ

1. Несмотря на довольно солидный объем диссертации (277 страниц) некоторые параметры работы обладают признаками близкого к предельному минимализма. Так, весьма скромным выглядит список конференций, на которых представлены результаты работы. Весьма невелик набор подробно разобранных тестовых, прикладных и численных примеров.

2. Текст диссертации хорошо структурирован и оформлен. Есть только относительно мелкие замечания.

А). Не совсем понятны причины двойной системы ссылок на литературу (сноски на страницах плюс ссылки на список литературы) во Введении.

Б). В представленном оппоненту экземпляре диссертации страница 255 располагается между страницами 110 и 111.

В). В тесте Главы 5 имеется достаточно большое количество полупустых страниц.

Г). Не слишком удачной и естественной видится одновременно сплошная нумерация формул и двойная вида (номер главы. номер теоремы) нумерация утверждений.

### ОБЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

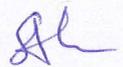
Диссертационная работа Н. С. Аркашова «Анализ структурных данных аномальных процессов переноса» является завершенной научной работой, определяющей и развивающей новое научное направление, связанное с конструктивным математическим описанием и статистической обработкой процессов аномальной диффузии, и соответствует требованиям, предъявляемым нормативными актами Российской Федерации к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук. Работа формально соответствует пункту 2 «Исследование информационных структур, разработка и анализ моделей информационных процессов и структур» и пункту 5 «Разработка и исследование моделей и алгоритмов анализа данных, обнаружения закономерностей в данных и их извлечениях, разработка и исследование методов и алгоритмов анализа текстов, устной речи и изображений» паспорта специальности 05.13.17 – Теоретические основы информатики. Полученные результаты опубликованы (22 научные статьи) и представлены на научных семинарах и конференциях. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Автор диссертации Николай Сергеевич Аркашов заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.17 – Теоретические основы информатики.

**Официальный оппонент**

ведущий научный сотрудник лаборатории стохастических задач  
Федерального государственного бюджетного учреждения  
науки Института вычислительной математики и математической  
геофизики Сибирского отделения Российской Академии наук,  
доктор физико-математических наук (01.01.07 – Вычислительная  
математика), профессор

28 февраля 2020 года

  
**Войтишек Антон Вацлавович**

**Подпись А. В. Войтишека удостоверяю.**

Ученый секретарь ИВМиМГ СО РАН, к.ф.-м.н.



**Л. В. Вшивкова**

**Сведения об организации:** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук; адрес: 630090, Новосибирск, проспект Академика М. А. Лаврентьева, 6; телефон: +7 (383) 330 83 53; адрес электронной почты: [contacts@sscc.ru](mailto:contacts@sscc.ru); сайт: <https://icmmg.nsc.ru>