

**ТРЕТИЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ СЕМИНАР ПО СТОХАСТИЧЕСКОМУ
МОДЕЛИРОВАНИЮ И ПРИКЛАДНЫМ ИССЛЕДОВАНИЯМ
В ТЕХНОЛОГИЯХ – THE THIRD INTERNATIONAL WORKSHOP
ON STOCHASTIC MODELING AND APPLIED RESEARCH
OF TECHNOLOGY, SMARTY 2022**

(Петрозаводск, 21–25 августа 2022 г.)



В августе минувшего года в Петрозаводске, в Карельском научном центре РАН состоялся Третий международный семинар по стохастическому моделированию и прикладным исследованиям в технологиях (The Third International Workshop on Stochastic Modeling and Applied Research of Technology, SMARTY 2022). Семинар был организован при поддержке Института прикладных математических исследований КарНЦ РАН; Петрозаводского государственного университета; CMS College Kottayam, Керала, Индия; Института проблем передачи информации им. А. А. Хар-

кевича РАН; Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» РАН (ФИЦ ИУ РАН), а также Российской секции IEEE и Communications Society Chapter (COM19).

Программный комитет состоял из отечественных и зарубежных специалистов, оргкомитет включал Е. В. Морозова, А. Ю. Вертенникова, А. С. Румянцева, А. В. Бородину, И. В. Пешкову, К. А. Жукову, Л. А. Мейханаджян, Н. Н. Никитину, Т. Е. Морозову, О. В. Лукашенко, Р. В. Разумчика, Р. С. Некрасову.

Мероприятие проходило в смешанном формате: участники присутствовали в зале заседаний, а также подключались к работе online. Семинар собрал представителей зарубежных стран и отечественных исследователей. Доклады представлялись на английском языке (за исключением специальной сессии памяти профессора В. В. Калашникова).

Семинар SMARTY 2022 проводился в формате пленарного и секционных заседаний, на которых рассмотрен широкий круг проблем, охватывающий наиболее актуальные направления научных исследований в области информационно-телекоммуникационных технологий. Пленарные доклады, средней длительностью 1 час 15 минут, представляли собой обзор современного состояния заявленной в названии области теоретико-вероятностных исследований. Сведения о 15-минутных секционных докладах приводятся в хронике мероприятия, представленной ниже.

22.08.2022

Пленарные доклады: Агаси Зарбали оглы Меликов (Институт систем управления Национальной академии наук Азербайджана, Азербайджан) «Новые политики пополнения запасов в системах обслуживания-запасания с двойными источниками»; Василий Никитич Колокольцов (Факультет ВМК МГУ им. М. В. Ломоносова, Россия) «Квантовые игры».

Секция 1. Bandits in Forests (Бандиты в лесах)

1. Сергей Гарбарь (Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого, Россия) «Стохастические дифференциальные уравнения для предельного описания правила УСВ для гауссовских многоруких бандитов». В докладе рассмотрена стратегия верхней доверительной границы для гауссовских многоруких бандитов с известными размерами горизонта управления N и построено ее предельное описание с помощью системы стохастических дифференциальных уравнений и обыкновенных дифференциальных уравнений.

2. Максим Ершов, Александр Колногоров, Альберт Ворошилов (Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого, Россия) «Адаптация УСВ-стратегии Ауэра–Чеза-Бьянки–Фишера для гауссовского двуручного бандита». Рассмотрена задача двуручного бандита применительно к обработке данных, если существуют два альтернативных метода обработки с разными априорно неизвестными показателями эффективности. Использована пакетная версия стратегии УСВ,

впервые представленная П. Ауэром, Н. Чеза-Бьянки и П. Фишером. Для разных подходов к решению задачи представлены результаты численных экспериментов.

3. Марина Лери (Институт прикладных математических исследований КарНЦ РАН, Россия) «Расстояние в графах степенной конфигурации». Рассмотрены конфигурационные графы, состоящие из нескольких узлов со случайными одинаково распределенными по степенному закону степенями узлов. Введено расстояние в таких графах и поставлена цель определить зависимость расстояния от параметра распределения. С помощью имитационного моделирования с последующей статистической обработкой (и применением алгоритма Дейкстры) показано, что в асимптотическом и доасимптотическом диапазоне характеристики расстояния различны.

4. Юрий Павлов, Ирина Чеплюкова (Институт прикладных математических исследований КарНЦ РАН, Россия) «Графы конфигурации и случайные леса». Рассмотрен однородный критический ветвящийся процесс Гальтона–Ватсона G , начинающийся с N частиц. При некоторых предположениях о распределении числа потомков частиц рассматривается подмножество траекторий G , содержащих $N + n$ частиц, т. е. случайный лес, состоящий из N корневых деревьев и содержащий n некорневых вершин. Доказаны предельные теоремы для максимального размера дерева и для числа деревьев заданного размера при различных соотношениях между N и n при их стремлении к бесконечности.

5. Ирина Чеплюкова (Институт прикладных математических исследований КарНЦ РАН, Россия) «О максимальной степени вершин в условных конфигурационных графах». Рассмотрен конфигурационный граф, в котором степени вершин являются независимыми одинаково распределенными случайными величинами с заданным асимптотическим поведением хвостов распределений. Исследовано предельное поведение этого графа при бесконечном увеличении числа вершин.

6. Георгий Сафонов, Анна Ивашко (Институт математики и информационных технологий Петрозаводского государственного университета, Институт прикладных математических исследований КарНЦ РАН, Россия) «Применение машинного обучения для определения оптимальной стратегии онлайн-аукциона по аренде вычислительных ресурсов». Исследованы вопросы оптимизации использования арендуемых вычислительных ресурсов на ос-

нове изучения статистики использования сервиса Amazon EC2.

Секция 2. Theory and Applications (Теория и приложения)

1. Наталья Маркович (Институт проблем управления РАН, Россия) «Экстремальные свойства эволюционирующих сетей». Доклад об исследовании поведения ряда характеристик случайных эволюционирующих сетей – таких как хвостовой индекс и экстремальный индекс вновь добавленных узлов и др. Обсуждены проблемы и перспективы данного направления исследований.

2. Елена Карачанская (Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Россия) «Моделирование случайных процессов с инвариантными функциями». Доклад посвящен методу численного моделирования случайных процессов с различными характеристиками, например, с сильными случайными возмущениями или с инвариантными функциями. Метод хорошо адаптирован к применению на современных ЭВМ.

3. Александр Иванов (Институт прикладных математических исследований КарНЦ РАН, Россия) «О теореме о промежуточном значении для размерностей квантования». В докладе обсуждаются вопросы квантования для метрических компактов с заданной вероятностной мерой. Доказано существование меры с заданными свойствами на некоторых метрических компактах.

4. Александр Щеголев (Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики, Россия) «О предельных теоремах для однородных нелинейных цепей Маркова с дискретным временем». В докладе представлены некоторые результаты о законе больших чисел и центральной предельной теореме для некоторого класса нелинейных цепей Маркова. Эти результаты можно рассматривать как некоторые свойства устойчивости.

5. Алексей Тихомиров (Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого, Россия) «О простом марковском алгоритме однородного случайного поиска экстремума». Представленный в докладе алгоритм позволяет решать достаточно широкий класс задач нахождения глобального экстремума целевой функции с высокой точностью.

6. Андрей Печников (Институт прикладных математических исследований КарНЦ РАН, Россия), Энтони Нвохири (Университет Лагоса, Нигерия) «Динамика графа цитирования math-net.ru». В докладе представлено исследование

динамики цитирования материалов, представленных на сайте math-net.ru, авторами сделан ряд полезных для пользователей выводов.

23.08.2022

Пленарные доклады: Абхиджит Датта Банник (Индийский технологический институт Бхубанешвар, Индия) «Анализ многоканальных систем обслуживания с пакетным поступлением заявок и входным процессом восстановления / марковским входным потоком, одноканальных систем с входным процессом восстановления и марковским пакетным обслуживанием с использованием корней характеристического уравнения»; Ачьюта Кришнамурти (CMS Колледж Котгаям, Индия) «Очереди с взаимозависимостью между первичным поступлением, обслуживанием и повторным обращением к орбитальным клиентам – новый подход».

Секция 3. Queues (Теория очередей)

1. Юрий Хохлов, Оксана Сидорова, Лев Сулов (Факультет ВМК МГУ им. М. В. Ломоносова, Тверской государственный университет, Россия) «Асимптотические верхние границы вероятности переполнения буфера телекоммуникационной системы». В докладе рассмотрена система, входной поток которой представляет собой сумму некоторой средней нагрузки и суммы независимого дробного броуновского движения и устойчивого движения Леви, с одним обслуживающим устройством с постоянной интенсивностью обслуживания. В стационарном случае предложены некоторые верхние асимптотические оценки вероятности переполнения буфера системы.

2. Таисия Морозова (Уппсальский университет, Швеция) «О приближении среднего поля и устойчивости в восходящей сотовой сети». В докладе исследуется модель восходящей сотовой сети в дискретном времени, с допущением повторной передачи сигнала в случае сбоя. Введено приближение интерференции среднего поля и исследована его точность с помощью стохастического моделирования.

3. Адам Тот, Янош Штрик (Факультет информатики Дебреценского университета, Венгрия) «Моделирование систем массового обслуживания с двусторонней связью, повторными вызовами, ненадежным сервером и нетерпеливыми клиентами на орбите». Рассмотрена система двусторонней связи с ненадежным сервером, где первичные клиенты могут покинуть систему после пребывания на ор-

бите в течение определенного времени. Выход из строя сервисного блока может произойти как во время его работы, так и в состоянии простоя. Одной из важных характеристик модели является то, что сервер генерирует запросы к клиентам из бесконечного источника в состоянии простоя. Проведен анализ чувствительности некоторых основных показателей производительности рассматриваемой системы к распределениям времени отказа.

4. Галина Зверкина (Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, Россия) «О полиномиальной скорости сходимости распределения одной нерегенерирующей системы надежности с запаздыванием переключения». Для одной нерегенерирующей системы надежности с запаздыванием переключения предложен алгоритм получения оценки сверху для скорости сходимости распределения.

5. Руслана Некрасова (Институт прикладных математических исследований КарНЦ РАН, Россия) «Подход на основе цепей Маркова для анализа устойчивости двухклассовых моделей массового обслуживания с повторными вызовами». В докладе рассмотрена модель обслуживания с повторными вызовами двух классов и пуассоновским входным потоком. Заявка, поступившая при занятом сервере, присоединяется к орбите соответствующего класса и через экспоненциально распределенный интервал времени вновь пытается получить обслуживание. Интенсивность потоков с орбит определяется номером класса и остается постоянной вне зависимости от числа орбитальных заявок. Рассматриваемая модель успешно описывается двумерной марковской цепью, что позволяет при исследовании устойчивости использовать известные теоретические результаты по эргодичности цепей Маркова. Данный подход был применен как к простой системе с повторными вызовами, так и к более сложной модели с ненадежным сервером, в которой поступающая заявка сначала отправляется на орбиту соответствующего класса и только потом пытается захватить сервер.

Секция 4. МАММ (Матрично-аналитические модели)

1. Нараянан Вишванатх (Факультет математики Государственного инженерного колледжа г. Триссура, Индия) «Анализ в переходном режиме системы $M/M/1$ с повторными вызовами с помощью метода гомотопических возмущений» (приглашенный доклад). Известны исследования систем обслуживания с повторными вызовами; обычно при этом применялось преобразование Лапласа, кото-

рое сложно обращать. Поэтому аналитические выражения для показателей производительности таких систем в переходном режиме получаются редко. Для исследования такого рода характеристик в докладе применен метод гомотопических возмущений. Этот метод имеет некоторые трудности в применении, но его универсальность полезна в приложениях.

2. А. Кришнамурти (CMS Колледж Коттаям, Индия), М. Дж. Джейкоб, К. Расми (Кафедра математики Национального технологического института Каликута, Индия) «Многосерверная система обслуживания-запасания с адресными повторными попытками с общей орбиты». Многосерверная система обслуживания с адресными повторными вызовами в докладе обобщена на случай модели обслуживания-запасания. Первичное прибытие клиентов регулируется маркированным марковским входящим процессом. Если клиент попадает в свободный узел с доступным товаром, он получает услугу за экспоненциально распределенное время. В противном случае он уходит на орбиту и повторяет попытку с экспоненциальной задержкой. Для этой системы матрично-аналитическими методами получены условие устойчивости, стационарные вероятности и ряд других характеристик.

3. Джозеф Гришма (Центр математических исследований, CMS Колледж Коттаям, Индия), Джейкоб Варгис (Кафедра математики Государственного колледжа Коттаям, Индия) и Ачьюта Кришнамурти (Центр математических исследований, CMS Колледж Коттаям, Индия) «Сравнительное исследование систем массового обслуживания с вариантами времени активации и нетерпеливыми клиентами при N -политике». В докладе рассмотрены очереди $M/M/1$ при N -политике с нетерпеливыми клиентами и различными стратегиями активации сервера. Входящий поток пуассоновский, время обслуживания и время активации распределены по экспоненциальному закону, и все они независимы друг от друга. Стационарное распределение процесса обслуживания получено с использованием матричного геометрического метода. Рассчитаны показатели производительности соответствующих систем. Также эти модели проанализированы численно, определено оптимальное значение N .

4. М. Нимиша, М. Манохаран (Департамент статистики Каликутского университета, Индия), А. Кришнамурти (Центр исследований в области математики, CMS Колледж Коттаям, Индия) «Модель опроса транспортных развязок». Рассмотрена модель поллинга для минимизации времени ожидания на светофорах.

Для этого регулируется время разрешающего сигнала светофора с помощью таймера случайной длительности, стартующего в момент опустошения очереди. Длительность таймера стохастически меньше, чем остаточное время до окончания разрешающего сигнала. Если во время ОН этих часов нет поступления машин на обслуживание, сигнал становится запрещающим в тот момент, когда часы срабатывают. Затем сигнал переключается в циклическом порядке. Это значительно сокращает пробки на перекрестках. Система проанализирована как цепь Маркова с непрерывным временем. Для анализа используются матричные аналитические методы. Рассчитаны несколько показателей производительности.

5. В. Абдул Роф (Департамент математики, Женский колледж мемориального единства им. Корамбаила Ахаммеда Хаджи, Индия), А. Кришнамурти (Центр исследований в области математики, SMS Колледж Коттаям, Индия) «Система обслуживания-запасания со снижением продажной цены и старением». Пусть цена реализации товара может снижаться по мере увеличения возраста товара. Решение о сохранении цены реализации на прежнем уровне либо о снижении цены принимается на конечном числе этапов. Товары с минимальной ценой продаются по цене брака, если они есть на складе. Поступление покупателей – пуассоновский процесс, интенсивность которого растет при снижении цены, обслуживание покупателей экспоненциальное. Система исследована с помощью цепи Маркова с непрерывным временем. Товарные запасы пополняются в соответствии с некой политикой. Вычислено стационарное распределение этой цепи Маркова и представлены различные показатели производительности. Функция стоимости построена для расчета оптимального объема пополнения запаса и уровня повторного заказа.

6. Александр Румянцев (Институт прикладных математических исследований КарНЦ РАН, Россия), Ростислав Разумчик (Институт проблем информатики ФИЦ ИУ РАН, Россия), Рама Мурти Гаримелла (Департамент компьютерных наук, Центральная инженерная школа, Университет Махиндра, Индия) «Анализ переходных процессов маломасштабной модели суперкомпьютера с помощью фазового расщепления». В докладе продемонстрирован редко используемый метод разделения фаз для явного анализа модели небольшого суперкомпьютера (многосерверная модель с одновременным обслуживанием / система с многосерверными заявками).

24.08.2022

Заседание, посвященное памяти В. В. Калашникова (1942–2001)

Большинство выступлений было на русском языке. Авторы докладов поделились воспоминаниями о В. В. Калашникове, рассказали о некоторых его достижениях и о нынешних результатах применения предложенных В. В. Калашниковым методов и подходов к решению ряда задач в теории случайных процессов.

1. Николай Кузнецов (Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН, Россия). Воспоминания.
2. Евсей Морозов (Институт прикладных математических исследований КарНЦ РАН, Россия). Воспоминания.
3. Виктор Королев (Факультет ВМК, МГУ им. М. В. Ломоносова, Россия) «Асимптотические свойства геометрических и некоторых других смешанных пуассоновских случайных сумм».
4. Владимир Рыков (Кафедра прикладной информатики и теории вероятностей РУДН, Россия) «О разложимых полурегенерирующих процессах и их приложении к системе k -из- n ».
5. Гурами Цициашвили (Лаборатория вероятностных методов и системного анализа ИПМ ДВО РАН, ДВФУ, Россия) «Мой Учитель В. В. Калашников», «Альтернативные конструкции систем массового обслуживания с высокой нагрузкой и малой очередью».
6. Александр Веретенников (Институт проблем передачи информации им. А. А. Харкевича РАН, Россия) «О некоторых методах проверки возвратности».
7. Михаил Чебунин (Кафедра высшей математики физического факультета НГУ, Россия), Сергей Фосс (Университет Хериота Уотта, Великобритания) «Эргодичность по Харрису протокола управления раздельной передачей данных».
8. Екатерина Булинская (Механико-математический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова, Россия) «О проблемах устойчивости для прикладных вероятностных моделей».
9. Херманн Ториссон (Школа инженерии и естественных наук Исландского университета, Исландия) «Классический метод каплинга и теорема восстановления Блэквелла».
10. Лев Клебанов (Карлов университет, Прага, Чехия), Юлия Куваева (Уральский государственный экономический университет, Россия)

«Распределения с тяжелыми хвостами в социальных науках».

11. Александр Зейфман (Вологодский государственный университет, Россия) «Эргодичность, возмущение и границы усечения для неоднородных цепей и моделей Маркова с непрерывным временем, исследования с использованием прямых уравнений Колмогорова».

12. Юрий Хохлов (Факультет ВМК МГУ им. М. В. Ломоносова, Россия) «Об одном семействе многомерных распределений с тяжелыми хвостами».

13. Ирина Пешкова (Петрозаводский государственный университет, Россия) «О максимумах времени ожидания в очередях со смешанным временем обслуживания».



25.08.2022

Молодежная школа

В рамках молодежной школы состоялся пленарный доклад профессора Василия Колокольцова (Факультет ВМК МГУ им. М. В. Ломоносова, Россия) «Квантовые вычисления» и прошел tutorial Александра Румянцева (Институт прикладных математических исследований КарНЦ РАН, Россия) «От стохастической модели к веб-приложению». В секционной части было представлено 7 докладов молодых ученых (некоторые доклады подготовлены в соавторстве с научными руководителями):

1. Рама Мурти Гаримелла (Факультет компьютерных наук, Университет Махиндра, Хайдарабад, Индия), Александр Румянцев (Институт прикладных математических ис-

следований КарНЦ РАН, Россия), Баса Чандранейл (Индийский технологический институт, Мадрас, Индия) «Цепи Маркова без отказов: уравнения для матричного/степенного ряда». В работе рассмотрены широко применяющиеся в приложениях системы массового обслуживания типа G/M/1 и M/G/1. Нахождение стационарного распределения подобных систем требует решения уравнений для матричного степенного ряда. Авторы показали, что с помощью теоремы Гамильтона–Кэли и используя сопровождающую матрицу можно свести подобное уравнение к матричному уравнению для полинома.

2. П. С. Арья, Р. Маникандан, А. Кришнамурти (Центральный университет Кералы, Касарагод, Индия) «Система “Надежность – Очередь – Инвентаризация” с пополнением запасов и ремонтом отказавших компонентов».

В докладе рассмотрена система типа k -из- n , состоящая из одинаковых и независимо работающих компонентов с экспоненциально распределенными временами жизни и восстановления. Предполагается, что отказавшие компоненты помещаются в очередь для ремонта, который начинается только при достижении определенного порога числа отказавших приборов. Для рассматриваемой модели получено явное решение для вероятностей состояний и найдены важные показатели эффективности.

3. П. У. Шаджиб (Факультет математики, Государственный университет Виктории, Паллаккад, Индия), Р. Маникандан, А. Кришнамурти (Центральный университет Кералы, Касарагод, Индия) «Процесс группового обслуживания с доступной партией применительно к системе общественного транспорта». В докладе рассмотрена задача моделирования системы городского пассажирского транспорта, курсирующего между организациями/офисами и центральной точкой (центральным узлом) города. Время перемещения транспортного средства между остановками, располагающимися на пути от офисов к центральному узлу, имеет экспоненциальное распределение. При этом заявки могут перемещаться группами, каждая из которых не превосходит некоторого заданного порога b . Найдено условие устойчивости данной системы, также вычислены некоторые характеристики состояния системы, на основе которых определена функция затрат.

4. Сергей Астафьев (Институт прикладных математических исследований КарНЦ РАН) «Алгоритмическое построение генераторной матрицы для многосерверной модели обслуживания». В докладе рассказано об алгоритмическом построении генераторной матрицы для модели вычислительного кластера с политикой случайного переключения скорости обслуживания. Данный подход позволяет построить матрицу для системы любого размера, на практике ограниченного лишь размером оперативной памяти компьютера. Приведены примеры расчета стационарного распределения на основе матрицы, полученной с помощью предложенного алгоритма.

5. Антон Ковин (Институт прикладных математических исследований КарНЦ РАН) «Использование резервуарных вычислений для классификации проблем в Github». Доклад об автоматической классификации заданий по устранению проблем в программном обеспечении с открытым исходным кодом с помощью нейронной сети LogNet и javascript-фреймворка Cypress.

6. Екатерина Потапова (Петрозаводский государственный университет), Олег Лукашенко (Институт прикладных математических исследований КарНЦ РАН) «Вариационный вывод для скрытой клеточной модели Поттса». При анализе данных с некоторой пространственной конфигурацией широко используются марковские случайные поля. Особенно актуальны такие модели при анализе изображений, оценке роста злокачественных опухолей и т. д. В данном исследовании рассмотрено применение скрытой модели Поттса для оценки степени поражения тканей злокачественными клетками. Для решения описанной выше задачи авторы применили так называемое приближение среднего поля. Проведено несколько экспериментов на синтетических данных. продемонстрирована эффективность предложенного подхода с точки зрения точности предсказаний, т. е. доли правильно идентифицированных типов клеток.

7. Кирилл Мосиевич (МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва) «О достаточных условиях транзиентности решения стохастических дифференциальных уравнений с переключениями». В работе установлены достаточные условия транзиентности процесса для марковской диффузионной модели с переключением и двумя режимами: переходным и эргодическим и при строго отделимых от нуля интенсивностях. Также найдены ограничения на условия экспоненциальной эргодичности при заданных переключениях.

Г. А. Зверкина, Э. Ю. Калимуллина

Авторы обзора выражают глубокую признательность А. С. Румянцеву за неоцененную помощь в подготовке этой публикации.