

**ИНФОРМАЦИОННО-
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ
ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ СИСТЕМ**

**Материалы
Всероссийской конференции
с международным участием**

Москва, РУДН, 24–28 апреля 2017 года

УДК 004:007(063)
ББК 32.81
И74

Конференция проводится в рамках реализации Программы повышения конкурентоспособности РУДН «5-100», проект М 2.4.1.П1 «Организация и проведение НТМ, повышающих международный и всероссийский уровень признания ученых РУДН».

Организатор конференции: Российский университет дружбы народов.

Соорганизаторы конференции:

Московский технический университет связи и информатики (МТУСИ);

Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук (ИПУ РАН);

Лаборатория информационных технологий Объединенного института ядерных исследований (ЛИТ ОИЯИ);

Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук (ФИЦ ИУ РАН).

Программный комитет: Самуйлов К. Е., д.т.н., проф., РУДН — председатель программного комитета; Севастьянов Л. А., д.ф.-м.н., проф., РУДН — сопредседатель программного комитета; Толмачев И. Л., к.ф.-м.н., проф., РУДН — сопредседатель программного комитета; Гудкова И. А., к.ф.-м.н., доцент, РУДН — секретарь программного комитета; Андреев С. Д., к.т.н., РУДН, Tampere University of Technology, г. Тампере, Финляндия; Башарин Г. П., д.т.н., проф., РУДН; Боголюбов А. Н., д.ф.-м.н., проф., МГУ; Виноцкий С. И., д.ф.-м.н., проф., ЛТФ ОИЯИ; Вишневский В. М., д.т.н., проф., ИПУ РАН; Гайдамака Ю. В., к.ф.-м.н., доцент, РУДН; Гнатич М. М., проф., Pavol Jozef Šafárik University in Košice, Словакия; Гольдштейн Б. С., д.т.н., проф., СПб ГУТ; Горшенин А. К., к.ф.-м.н., доцент, ФИЦ ИУ РАН; Дружинина О. В., д.ф.-м.н., проф., ФИЦ ИУ РАН; Ефимушкин В. А., к.ф.-м.н., доцент, ОАО «Интеллект Телеком»; Ибрагимов Б. Г., д.т.н., проф., Азербайджанский технический университет (АЗТУ), г. Баку, Азербайджан; Кореньков В. В., д.т.н., проф., ЛИТ ОИЯИ; Королькова А. В., к.ф.-м.н., доцент, РУДН; Крынев А. В., д.ф.-м.н., проф., НИЯУ «МИФИ»; Кулябов Д. С., к.ф.-м.н., доцент, РУДН; Кучерявый А. Е., д.т.н., проф., СПб ГУТ; Кучерявый Е. А., к.т.н., проф., НИУ ВШЭ; Ланеев Е. Б., д.ф.-м.н., проф., РУДН; Мартикайнен О. Е., проф., Service Innovation Research Institute, г. Хельсинки, Финляндия; Назаров А. А., д.т.н., проф., ТГУ; Наумов В. А., проф., Service Innovation Research Institute, г. Хельсинки, Финляндия; Осипов Г. С., д.ф.-м.н., проф., ФИЦ ИУ РАН; Пузынин И. В., д.ф.-м.н., проф., ЛИТ ОИЯИ; Пшеничников А. П., к.т.н., проф., МТУСИ; Ромашкова О. Н., д.т.н., проф., МГПУ; Севастьянов А. Л., к.ф.-м.н., РУДН; Степанов С. Н., д.т.н., проф., МТУСИ; Стрельцова О. И., к.ф.-м.н., с.н.с., ЛИТ ОИЯИ; Сущенко С. П., д.т.н., проф., ТГУ; Хачумов В. М., д.т.н., проф., ФИЦ ИУ РАН; Цирулев А. Н., д.ф.-м.н., проф., ТвГУ; Цитович И. Л., д.ф.-м.н., доцент, ИППИ РАН; Чулуунбаатар О., д.ф.-м.н., ЛИТ ОИЯИ; Шоргин С. Я., д.ф.-м.н., проф., ФИЦ ИУ РАН; Щетинин Е. Ю., д.ф.-м.н., проф., СТАНКИН.

Оргкомитет:

Председатель: Васильев С. А., к.ф.-м.н. (РУДН).

Зам. председателя: Диваков Д. В. (РУДН); Острикова Д. Ю., к.ф.-м.н. (РУДН); Соченков И. В., к.ф.-м.н. (РУДН); Стрельцова О. И., к.ф.-м.н., с.н.с. (ЛИТ ОИЯИ).

Члены оргкомитета: Никитина Е. В., к.х.н., зам. декана по науке (РУДН); Малых М. Д., к.ф.-м.н. (РУДН); Демидова А. В., к.ф.-м.н. (РУДН); Тютюнник А. А. (РУДН).

Секции:

Теория телетрафика и ее применения

Сопредседатели: д.т.н., проф. Башарин Г. П. (РУДН), к.т.н., проф. Пшеничников А. П. (МТУСИ), к.ф.-м.н. доцент Гудкова И. А. (РУДН).

Секретарь: к.ф.-м.н. Острикова Д. Ю. (РУДН).

Сети связи следующего поколения: управление, качество, архитектура

Сопредседатели: д.т.н., проф. Самуйлов К. Е. (РУДН), д.т.н., проф. Вишневский В. М. (ИПУ РАН), к.ф.-м.н., доцент Гайдамака Ю. В. (РУДН).

Секретарь: Горбунова А. В. (РУДН).

Прикладные информационные системы

Сопредседатели: д.ф.-м.н., проф. Осипов Г. С. (ФИЦ ИУ РАН), проф. Толмачев И. Л. (РУДН).

Секретарь: Новикова Д. С. (РУДН).

Высокопроизводительные технологии распределенных вычислений

Сопредседатели: д.т.н., проф. Кореньков В. В. (ЛИТ ОИЯИ), к.ф.-м.н., доцент Кулябов Д. С. (РУДН).

Секретарь: к.ф.-м.н. Демидова А. В. (РУДН).

Математическое моделирование

Сопредседатели: д.ф.-м.н., проф. Севастьянов Л. А. (РУДН), д.ф.-м.н., проф. Крынев А. В. (НИЯУ «МИФИ»), к.ф.-м.н., проф. Дружинина О. В. (ФИЦ ИУ РАН).

Секретарь: к.ф.-м.н. Демидова А. В. (РУДН).

И74

Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологических систем : материалы Всероссийской конференции с международным участием. Москва, РУДН, 24–28 апреля 2017 г. — Москва : РУДН, 2017. — 370 с. : ил.

ISBN 978-5-209-07913-2

© Коллектив авторов, 2017

© Российский университет дружбы народов, 2017

Содержание

Теория телетрафика и её применения

| | |
|---|----|
| Берсеньев Г. Б., Воронков С. С. Исследование потоков графических данных в трафике компьютерного класса | 10 |
| Ботвинко А. Ю. Оптимизация набора правил фильтрации в межсетевых экранах | 13 |
| Васильев А. П. Построение и анализ модели с динамическим распределением каналного ресурса при обслуживании трафика реального времени и эластичного трафика данных | 15 |
| Журко А. М., Степанов М. С., Степанов С. Н. Построение и анализ модели call-центра с учетом навыков операторов и нетерпеливости абонентов | 18 |
| Заринова Э. Р., Чухно Н. В., Чухно О. В. Разработка математической модели бизнес-процесса телекоммуникационной компании | 21 |
| Зарядов И. С., Богданова Е. В., Милованова Т. А. Характеристики системы массового обслуживания с обновлением и рекуррентным обслуживанием по вложенной цепи Маркова | 24 |
| Иванова Д. В., Карнаухова Е. А., Гольская А. А., Маркова Е. В. Марковская модель схемы совместного использования ресурсов со снижением скорости обслуживания в беспроводной сети | 27 |
| Калинина К. А. О случайном суммировании нагрузки при оценивании эффективной пропускной способности узла высокоответственной сети | 30 |
| Киселева К. М. Исследование некоторых нестационарных моделей массового обслуживания, описываемых неоднородными марковскими цепями с непрерывным временем | 33 |
| Кутбитдинов С. Ш., Лохмотко В. В. Асимптотическая модель сбалансированной IP-сети с распределенной структурой. | 35 |
| Мокров Е. В., Полуэктов Д. С., Гудкова И. А. Вероятностная модель загрузки данных подвижному устройству в беспроводной сети LTE | 38 |
| Назаров А. А., Бронер В. И. Модифицированная модель Крамера-Лундберга с релейным управлением поступлением ресурса | 41 |
| Полуэктов Д. С., Мокров Е. В. Анализ времени ожидания доступа к ресурсам совместного использования в модели с эластичным трафиком и прерыванием обслуживания | 44 |
| Потатуева В. В., Лисовская Е. Ю., Моисеева С. П. Асимптотический анализ системы MPP[GI] ∞ с заявками случайного объема | 47 |
| Сарайкин И. В. Бизнес-процесс оказания услуг профессиональной видеосъемки и монтажа как сеть массового обслуживания | 50 |
| Сопин Э. С., Самуйлов К. Е. Рекуррентный алгоритм вычисления вероятностных характеристик для СМО с ограниченными ресурсами и случайными требованиями | 52 |
| Уанкло Г. Ж. К., Козырев Д. В. Анализ чувствительности характеристик надёжности модели резервирования системы передачи данных к виду распределений времени безотказной работы и ремонта её элементов | 55 |
| Фёдорова Е. А. Исследование RQ-системы M M 1 с нетерпеливыми заявками в условии большой загрузки | 59 |
| Филонец Т. А. Моделирование телеграфного процесса | 63 |
| Цурлуков В. В., Крупко О. С., Зарядов И. С. Входящий поток, управляемый цепью Маркова (ММАР). Использование в задачах теории телетрафика | 66 |

| | |
|---|----|
| Чукарин А. В., Зарипова Э. Р., Смирнова Н. М. Моделирование семи эталонных клиентоориентированных бизнес-процессов телекоммуникационной компании | 69 |
| Шкленник М. А., Моисеева С. П. Исследование суммарного потока обращений в неоднородной системе массового обслуживания с неограниченным числом обслуживающих устройств и повторными обращениями | 72 |
| Штыкова Е. Н. Анализ марковских сетей с доходами, положительными и отрицательными заявками | 75 |

Сети связи следующего поколения: управление, качество, архитектура

| | |
|--|-----|
| Абаев П. О. Угрозы безопасности в программно-конфигурируемых сетях | 77 |
| Абаев П. О., Царев А. С., Леон Агупанья М. К. Модель для анализа показателей эффективности виртуальных сетевых функций в 5G сетях | 80 |
| Агеев К. А., Сопин Э. С. Дискретизация функции распределения требований к ресурсу для анализа характеристик M2M трафика | 83 |
| Адаму А., Медведева Е. Г., Гайдамака Ю. В. К анализу характеристик туманно-облачных вычислений | 86 |
| Андреев С. Д. О причинах и последствиях технологической фрагментации современного интернета вещей | 89 |
| Ардилла Пинто А. Процедура установления соединения по каналу случайного доступа | 92 |
| Ардилла Пинто А., Семенова О. В., Власкина А. С., Зарипова Э. Р., Гудкова И. А. К разработке имитационной модели схемы установления соединения по каналу случайного доступа | 95 |
| Бегишев В. О., Молчанов Д. А., Самуйлов А. К. Анализ сотовой технологии интернета вещей NarrowBand IoT | 98 |
| Бесчастный В. А. Дискретная модель с групповым обслуживанием для анализа схемы доступа транспортных средств к ресурсам беспроводной сети | 101 |
| Власкина А. С., Семенова О. В., Гудкова И. А. Об алгоритме использования технологий мультимедиа и прямого взаимодействия устройств для передачи данных в беспроводной сети | 104 |
| Волков А. С., Бахтин А. А., Миронов А. В., Солодков А. В., Кульпина Ю. А. Применение широкополосных сигналов в сетях MANET | 107 |
| Гайдамака Ю. В., Жданков А. Н. Алгоритм моделирования расположения взаимодействующих устройств для оценки интерференции в сетях беспроводной связи | 110 |
| Гайдамака Ю. В., Русина Н. В., Фомченко Т. Д., Цветкова О. О. Алгоритм расчета вероятности блокировки заявок на узлах пассивной оптической сети | 113 |
| Гудкова И. А., Самуйлов К. Е. К разработке модели схемы совместного доступа к ресурсам беспроводной сети с адаптивной скоростью обслуживания пользователей | 116 |
| Дараселия А. В., Сопин Э. С. Анализ энергопотребления системы облачных вычислений с учетом разогрева и выключения серверов | 119 |
| Дзантиев И. Л., Харин П. А., Маркова Е. В., Гудкова И. А. К разработке вероятностной модели затухания сигнала в беспроводной сети с разноудаленными от базовой станции и разновысокими устройствами | 122 |
| Ибрагимов Б. Г., Гасанов М. Г., Керимов В. Р. К анализу показателей эффективности функционирования сетей NGN/IMS при оказании мультимедийных услуг | 124 |

| | |
|---|-----|
| Ибрагимов Б. Г., Гумбатов Р. Т., Ибрагимов Р. Ф. Исследование эффективности интеллектуальной сети связи при установлении соединения | 127 |
| Мащевич И. А., Самуйлов К. Е. Модель разделения нагрузки в системах туманных вычислений | 130 |
| Мачнев Е. А., Полужков Д. С., Мокров Е. В. К разработке мобильного приложения для измерения качества радиоканала и моментов совершения хэндовера в беспроводной сети LTE | 133 |
| Осипов О. А. Построение модели системы распределённых вычислений в виде системы массового обслуживания с делением и слиянием требований | 135 |
| Саркер М., Острикова Д. Ю. К анализу вероятностных характеристик процедуры веб-браузинга в условиях ненадежности ресурсов беспроводной сети | 137 |

Прикладные информационные системы и технологии

| | |
|---|-----|
| Данилов И. Д. Программная реализация графического интерфейса, направленного на моделирование инвестиционных проектов | 140 |
| Докучаев Д. А. Методы решения задач распознавания изображений | 143 |
| Жарикова С.-Н. А. Тематическая кластеризация новостных сообщений | 147 |
| Исаев А. А. Выделение параметров для обучения ЭС, решающей задачи ТОРО | 150 |
| Каменская М. А., Храмоин И. В. Разрешение референции в текстах на русском языке | 153 |
| Карпов А. В., Деникин А. С., Науменко М. А., Алексеев А. П., Рачков В. А., Самарин В. В., Сайко В. В. Сетевая база знаний NRV по ядерной физике низких энергий | 156 |
| Кулзак О. Д. Д. Интеллектуальный анализ клинических данных | 159 |
| Лорян К. А., Иванов В. Е. Расширение функциональности партионного учета себестоимости в среде 1С: Предприятие | 161 |
| Лукина М. С. Экспериментальные исследования задачи планирования траектории на картах специального вида | 164 |
| Панкратов А. С., Мазри А. Построение интегрированной информационной системы, объединяющей базы данных компаний, обеспечивающих грузоперевозки | 167 |
| Панкратов А. С., Пшеунов А. Х. Построение интегрированной информационной системы, объединяющей транспортные расписания | 170 |
| Сарибекян М. А. Исследование зависимости основных макроэкономических показателей Российской Федерации с помощью корреляционно-регрессионного анализа | 173 |
| Симон К. К. Сетевая защита с помощью средства машинного обучения | 176 |
| Соколова Т. А. Методы автоматического извлечения и сегментации библиографических ссылок из научных текстов | 179 |
| Хамбикова Г. М. Разработка метода интеллектуального анализа социально-экономических данных | 182 |
| Харитонов А. С., Жуков В. В. Сравнительный анализ статистических систем, используемых при проведении клинических и биомедицинских исследований | 185 |
| Хасаншина А. Д. Анализ методов разработки диалоговых систем | 188 |
| Фомин М. Б. Использование тестовых данных в процессе описания метаданных многомерных информационных систем | 191 |

| | |
|--|-----|
| Черчик К., Меняшина А. Ю., Толмачев И. Л. Технология автоматизации документо-оборота | 194 |
| Шагаев Е. А. Структуры данных для хранения больших массивов данных и алгоритмы быстрого доступа к ним | 197 |

Высокопроизводительные технологии распределённых вычислений

| | |
|---|-----|
| Адам Г., Беляков Д. В., Валя М., Зрелов П. В., Кореньков В. В., Матвеев М. А., Подгайный Д. В., Стрельцова О. И. Расширение функциональных возможностей гетерогенного кластера HybriLIT | 200 |
| Адам Г., Вальова Л., Валя М., Заикина Т. Н., Киракосян М. Х., Кутовский Н. А., Федоров К. В., Подгайный Д. В., Стрельцов А. И., Стрельцова О. И., Торосян Ш. Г. Новые компоненты программно-информационной среды гетерогенного кластера hybriLit | 203 |
| Александров Е. И., Башашин М. В., Беляков Д. В., Волохова А. В., Земляная Е. В., Зуев М. И., Кутовский Н. А., Матвеев М. А., Нечаевский А. В., Ососков Г. А., Подгайный Д. В., Рахмонов И. Р., Стрельцова О. И., Трофимов В. В., Шукринов Ю. М. Исследование эффективности MPI-расчетов на облачной и гетерогенной инфраструктурах МИВК ОИЯИ | 206 |
| Валя М., Майоров А. В., Бутенко Ю. А. Развитие сервиса Stat-HybriLIT для гетерогенного кластера HybriLIT | 209 |
| Зуев М. И., Башашин М. В., Беляков Д. В., Кутовский Н. А., Матвеев М. А., Подгайный Д. В., Стрельцова О. И. Тестовый полигон для исследования эффективности проведения параллельных расчетов на облачной и гетерогенной вычислительных системах | 212 |
| Кулябов Д. С., Геворкян М. Н., Королькова А. В., Севастьянов Л. А. О поддержке параллельных вычислений в языке Julia | 215 |
| Кутовский Н. А., Нечаевский А. В., Ососков Г. А., Пряхина Д. И., Трофимов В. В. Моделирование MPI-приложений, выполняемых на гетерогенных вычислительных ресурсах | 218 |
| Мажитова Е. М., Балашов Н. А., Баранов А. В., Кутовский Н. А., Семенов Р. Н. Использование облачных технологий в ЛИТ ОИЯИ | 221 |
| Никонов Э. Г., Казаков Д. С. Механизм управления процессом сходимости итерационного метода Ньютона | 224 |
| Федосов М. Е., Коробов Н. А., Назаренко К. М. Оценка временных характеристик вычислительных экспериментов с использованием квантово-химических методов | 227 |

Математическое моделирование

| | |
|--|-----|
| Агавелян Г. В. Формирование инвестиционного портфеля по модели Г. Марковица | 229 |
| Аль-Натор М. С. Задача выбора оптимального портфеля с двусторонними ограничениями и с комиссией в условиях определенности | 232 |
| Аль-Натор С. В., Новиченкова М. Г. Хеджирование фьючерсными контрактами в нефтегазовой отрасли РФ | 235 |
| Амирханов И. В., Доля С. Н., Сархадов И. Математическое моделирование движения протонов в сильноточном линейном ускорителе | 238 |
| Амирханов И. В., Саркар Н. Р. Об одном методе исследования нелинейной самосогла-сованной задачи на собственные значения с растущим потенциалом нечетной степени | 241 |

| | |
|--|-----|
| Бугрий Г. С., Пономаренко Е. Ю. Об обратной задаче потенциала для тела постоянной толщины в слоистой среде | 244 |
| Будочкина С. А. Гамильтоновы и Гамильтона-допустимые уравнения, скобки Пуассона и алгебраические структуры в механике бесконечномерных систем | 246 |
| Велиева Т. Р., Королькова А. В., Кулябов Д. С. Гармоническая линеаризация модели системы с управлением | 249 |
| Велиева Т. Р., Платонова А. А. Программный комплекс определения значений параметров автоколебательного режима в системах с управлением | 252 |
| Веселов А. В. Вычисление нормали к поверхности, заданной приближенно | 256 |
| Вiana И. К., Зарядов И. С. Применение марковских моделей для анализа страховых компаний | 258 |
| Диваков Д. В., Древицкий А. С. Задача численного моделирования распространения волноводных мод в регулярном однородном открытом волноводе | 261 |
| Дружинина О. В., Масина О. Н. Анализ устойчивости многомерных моделей динамики популяций на основе принципа редукции | 264 |
| Емельянова Е. Ю., Исмаилов И. И., Петров В. А., Попова Е. В., Савин А. С., Хохлов А. А. К задаче анализа состава тела человека | 268 |
| Ермаčkова А. В., Пономаренко Е. Ю. Об обратной задаче потенциала для бесконечно тонкого тела в слоистой среде | 271 |
| Ефeрина Е. Г., Кулябов Д. С. Элементы диаграммной техники для статистических моделей | 273 |
| Завозина А. В., Мухина Д. Б. Применение метода гармонической линеаризации для определения значений параметров автоколебательного режима в системах с управлением | 276 |
| Зайцева А. А., Зарядов И. С. Цепи Маркова высшего порядка, их применение и построение в R | 280 |
| Иванов В. В., Крянев А. В., Осетров Е. С. Прогнозирование суточного потребления электроэнергии в Московском регионе на основе сингулярно-спектрального анализа | 283 |
| Иванов В. В., Крянев А. В., Севастьянов Л. А., Удumян Д. К. Прогнозирование временных рядов с помощью метрического анализа | 286 |
| Камнев А. В. Имитационное моделирование алгоритмов с управлением | 289 |
| Карамышева А. В., Шипова Е. П. Прогнозирование расходов пенсионного фонда России при увеличении пенсионного возраста | 292 |
| Касимов Ю. Ф. Риск менеджмент позиций в однопериодных финансовых сделках | 295 |
| Керимов А. К., Марченко М. Н. Стохастическое моделирование влияния метеофакторов на результаты электрометрического мониторинга | 298 |
| Крянев А. В., Орехов А. А., Пинегин А. А., Семенов С. В., Удumян Д. К. Моделирование ксеноновых переходных процессов на основе данных реакторных экспериментов и метрического анализа | 301 |
| Кузв Я. Ю. Прямая реализация псевдоспектрального метода вычисления волноводных мод | 304 |
| Кулябов Д. С., Геворкян М. Н., Королькова А. В., Демидова А. В. Стохастическое моделирование ветроэнергетических установок | 307 |
| Ломидзе И. Р., Евлахов С. А. Об одном методе классификации эрмитовых матриц по унитарным инвариантам | 309 |

| | |
|--|-----|
| Малькова А. М., Зарядов И. С. Скрытые марковские модели, их применение и моделирование в пакете R | 310 |
| Матюшенко С. И., Сухина Ю. И. Эконометрическое моделирование зависимости между спросом и предложением на рынке дизельного топлива | 313 |
| Михеев А. В. Механизмы управления риском страховых исков | 316 |
| Мусаев В. К. Математическое моделирование динамических упругих напряжений в полуплоскости с полостью (соотношение ширины к высоте один к четырем) с помощью волновой теории сейсмической безопасности | 319 |
| Мусаев В. К. Численное моделирование динамических упругих напряжений в полуплоскости с полостью (соотношение ширины к высоте один к четырем) с помощью волновой теории взрывной безопасности | 322 |
| Нсамо В. Д., Мануэль М. А., Бенто А. Э., Гаспар С., Маршалл О. И. Р. Реализация генераторов псевдослучайных чисел на языке Julia | 325 |
| Пермякова Ю. С. Оценка и анализ стабильности финансового состояния страховой компании | 327 |
| Петров А. А. Алгоритмы поиска оптимальных траекторий для моделей управляемых технических систем | 330 |
| Полуян С. В., Ершов Н. М. Разработка эффективных алгоритмов биоинформатики на основе решения модельной задачи укладки графов | 333 |
| Пузынин И. В., Пузынина Т. П., Христов И. Г., Христова Р. Д., Тухлиев З. К., Шарипов З. А. Развитие непрерывно-атомистического метода для моделирования процессов взаимодействия тяжелых ионов высоких энергий с конденсированными средами | 336 |
| Стародубцев В. В., Мусаев А. В., Дикова Е. В., Крылов А. И. Моделирование достоверности и точности импульсного воздействия в упругой полуплоскости с помощью численного метода, алгоритма и комплекса программ Мусаева В. К. | 339 |
| Сучков Д. А., Перепелкин Е. Е. Исследование энтропии систем многих частиц в неравновесных процессах | 342 |
| Талагаев Ю. В. Стабилизация класса 3D хаотических систем, представленного нечеткой моделью Такаги-Сугено | 343 |
| Тарелкин А. А., Перепелкин Е. Е. Исследование поведения решения нелинейного уравнения дивергентного типа | 346 |
| Третьяков Н. П., Кафарова М. В., Кафаров Р. Р. Оптимизация объема властных полномочий по критерию удельного потребления | 348 |
| Федоров А. Л., Шиянов С. М., Саликов Л. М., Блинные В. В. Моделирование плоских волн при распространении импульса (восходящая часть – линейная, нисходящая часть – четверть круга) в упругой полуплоскости с помощью комплекса программ Мусаева В. К. | 353 |
| Хведелидзе А. М., Рогожин И. А. Генерация ансамблей Гильберта–Шмидта и Бура для пар кубитов и кутиров | 356 |
| Цыганкова В. С. Реализация генераторов стохастических процессов | 358 |
| Щербаков А. В. Анализ устойчивости нелинейной модели популяционной динамики на основе свойств дивергенции поля скоростей | 360 |
| Щетинин Е. Ю., Мартынова В. М. О моделировании пространственных структур статистической зависимости экстремальных осадков | 363 |

СТОХАСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Кулябов Д.С., Геворкян М.Н., Королькова А.В., Демидова А.В.,

Российский университет дружбы народов ул. Миклухо-Маклая, д.6, Москва, Россия, 117198,

*kulyabov_ds@rudn.university, gevorgyan_mn@rudn.university, korolkova_av@rudn.university,
demidova_av@rudn.university*

В данной работе исследуются статистические данные, собранные с ветроэнергетических установок, находящихся на территории Республики Польши. исследования направлены на построение стохастической модели, предсказывающей изменение скорости ветра в зависимости от времени. Целью данной работы является поиск наиболее оптимального распределения для аппроксимации имеющихся статистических данных по скорости ветра.

Ключевые слова: скорость ветра, распределение Вейбулла, гамма распределение, бета распределение, логнормальное распределение.

Работа частично поддержана грантами РФФИ № 15-07-08795, 16-07-00556. Также публикация подготовлена при финансовой поддержке Минобрнауки России (соглашение № 02.A03.21.0008).

Введение

Данная работа посвящена проблеме стохастического моделирования изменения скорости ветра, используемого для генерации электроэнергии на ветроэнергетических установках находящихся на территории Республики Польши.

В качестве первого этапа выбирается вид теоретического распределения случайной величины w , которая должна аппроксимировать скорость ветра. В данной работе мы исследовали несколько распределений на предмет аппроксимации располагаемых нами данных, а именно: логнормальное, Вейбулла, а также бета и гамма распределения. Все рассматриваемые распределения имеют параметризацию коэффициентами формы, сдвига и масштаба (shape-location-scale). Для обработки статистических данных применялся язык Python 3 в связке с библиотеками numpy, scipy.stats [1] и matplotlib [2], а также интерактивной оболочкой Jupyter [3].

Описание структуры доступных для анализа данных

Доступные нам данные представляют собой таблицу в формате csv содержащую данные о скорости и направлении ветра на вершине установки, а также на высотах 10, 50 метров от уровня земли. Показатели скорости и направления ветра снимались с датчиков каждые 10 минут на протяжении около 9 месяцев. В общей сложности таблица содержит 39606 записей.

Для первоначального выбора распределений, которые могут подойти для аппроксимации скорости ветра, мы нарисовали гистограммы распределения скоростей ветра. Визуальная оценка этих гистограмм позволила предположить, что адекватным выбором будут распределения с «тяжелыми хвостами».

Используемые распределения

Для аппроксимации имеющихся в нашем распоряжении данных мы использовали четыре распределения: логнормальное, бета, гамма и распределение Вейбулла. Из литературы [4-6] известно, что наиболее часто для моделирования скорости ветра используется двухпараметрическое распределение Вейбулла. В данной работе каждое из рассматриваемых распределений параметризовано тремя параметрами: α — коэффициент формы (shape), l — коэффициент сдвига (location) и s — коэффициент масштаба (scale). В случае бета распределения добавляется еще второй коэффициент масштаба, обозначаемый буквой β .

Подбор параметров распределений

Для вычисления параметров распределений по имеющимся данным, была использована библиотека `scipy.stats` [1], в которой определены объекты `lognorm`, `weibull_min`, `gamma` и `beta`, которые реализуют рассматриваемые нами распределения. У каждого из данных объектов предусмотрены методы, которые реализуют функцию плотности вероятности `pdf(x, a, [b,] loc, scale)` и функцию распределения вероятности `cdf(x, a, [b,] loc, scale)`, где x — аргумент функции, a , b — параметры формы α , (и β в случае бета-распределения), loc и $scale$ — параметры смещения и масштаба.

Для нахождения параметров рассматриваемых распределений в `scipy.stats` предусмотрена функция `fit(data)`, которая вычисляет методом максимального правдоподобия параметры соответствующего распределения. Мы использовали данную функцию для вычисления параметров рассматриваемых нами распределений. После чего с помощью функций `pdf` и `cdf` были вычислены значения функции плотности вероятности и функции распределения.

Выводы

Результаты проделанной статистической обработки данных соответствуют результатам, изложенным в литературе, где распределение Вейбулла наиболее часто используется для аппроксимации скорости ветра [4–6].

Литература

1. Jones Eric, Oliphant Travis, Peterson Pearu et al. SciPy: Open source scientific tools for Python. — 2001— URL: <http://www.scipy.org/>.
2. Droettboom Michael, Caswell Thomas A., Hunter John et al. matplotlib/matplotlib: v2.0.0. — 2017. — Jan. — URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.248351>.
3. Project Jupyter home. — 2017. — URL: <https://jupyter.org>.
4. Fréchet Maurice René. Sur la loi de probabilité de l'écart maximum // Annales de la Société Polonaise de Mathématique. — 1927.— P. 93–116.
5. Weibull Waloddi. A statistical distribution function of wide applicability // Journal of Applied Mechanics.— 1951. — P. 293–297.
6. Norman L. Johnson, Samuel Kotz, Balakrishnan N. Continuous Univariate Distributions, Vol. 1 (Wiley Series in Probability and Statistics). — Wiley-Interscience, 1994. — Vol. 1 of Wiley Series in Probability and Statistics. — ISBN: 0471584959, 9780471584957.

STOCHASTIC MODELING OF WIND TURBINES

Kulyabov D.S., Gevorkyan M.N., Korolkova A.V., Demidova A.V.

RUDN University (Peoples' Friendship University of Russia), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation

kulyabov_ds@rudn.university, gevorkyan_mn@rudn.university, korolkova_av@rudn.university, demidova_av@rudn.university

In this paper, we study statistical data collected from wind turbines located on the territory of the Republic of Poland. This research aimed at building a stochastic model that predicts the change in wind speed depending on time. The aim of this work is to find the optimal distribution for the approximation of available statistical data on wind speed.

Key words: wind speed, Weibull distribution, gamma distribution, beta distribution, log normal distribution.